

**GENERACIÓN DE SUELOS ARTIFICIALES A TRAVÉS DEL USO DE
ESTÉRILES DE CARBÓN PROVENIENTES DE LA MINA LA PRIMAVERA,
PUERTO LIBERTADOR – CÓRDOBA**



DANIELA JIMÉNEZ MORALES

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL
MONTERÍA – CÓRDOBA**

2019

**GENERACIÓN DE SUELOS ARTIFICIALES A TRAVÉS DEL USO DE
ESTÉRILES DE CARBÓN PROVENIENTES DE LA MINA LA PRIMAVERA,
PUERTO LIBERTADOR – CÓRDOBA**

DANIELA JIMÉNEZ MORALES

**Trabajo de grado presentado, en la modalidad de Proyecto de investigación y/o
extensión, como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniera Ambiental**

**Director:
MÓNICA CECILIA CANTERO BENÍTEZ**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL
MONTERÍA – CÓRDOBA**

2019

“La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del proyecto, serán responsabilidad de los autores”

Artículo 61, acuerdo N° 093 del 26 de noviembre de 2002 del consejo superior

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director

Jurado 1

Jurado 2

DEDICATORIA

Este trabajo quiero dedicárselo a Dios y al Universo, por haberme permitido conocer y desarrollar tan hermoso estudio, donde se puso a prueba mi paciencia, perseverancia y el amor hacia la investigación, hoy más que nunca sé que las cosas ocurren a su debido tiempo.

Este trabajo también va dedicado a mis padres Piedad Morales y Jairo Jiménez, quienes fueron mi soporte espiritual y motivacional a lo largo de mi carrera universitaria y a quienes les debo mucho, a mis tías quienes muchas veces han tomado el rol de madre como también mis tíos que muchas veces fueron mis padres en especial mi difunto tío Hugo Daniel Morales, este trabajo quiero dedicárselo especialmente a él quien me vio como a una hija y siempre estuvo cuando presente cuando lo necesitaba.

A mis profesores, quienes fueron mis mentores a lo largo de mi carrera, en especial a la docente Mónica Cantero, gracias a ella logre conocer y desarrollar este estudio.

Al equipo de trabajo del laboratorio de suelos y agua de la Universidad de Córdoba, donde fueron muy amables y prestos a contribuir al desarrollo de mi estudio, también al laboratorio por contribuir a los análisis de suelos requeridos para este estudio de verdad muchas gracias, sin su ayuda no hubiese sido posible la puesta en marcha del trabajo.

A mis eternos compañeros y amigos de la universidad, con los que compartí muchas experiencias hermosas, así como otras llenas de estrés y ansiedad

Por ultimo a mi alma mater por haberme permitido el privilegio de ser parte de su estudiantado y contribuir a mi evolución personal e intelectual.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios y al universo por haber organizado todo de una manera tan perfecta, al inicio del proyecto no lo entendía pero hoy digo muchas gracias por haber organizado todo de tal manera que me permitió medirme a mí misma y conocer muchas personas que fueron como ángeles a lo largo de este estudio, a mi familia por siempre haber creído en mí, es especial a mi madre que siempre estuvo en los momentos más difíciles, a mi padre por siempre brindarme su apoyo, mis tíos, tías y primas Yojaira, Isabela y Luisa quienes han sido un soporte fundamental a lo largo de mi vida y también me han brindado su ayuda cuando más las he necesitado, le agradezco al laboratorio de suelos y agua por el apoyo brindado para la materialización de este estudio en especial a su director Enrique Combatt y a su equipo de trabajo. A mi directora Mónica Cantero por compartir todos sus conocimientos en las asignaturas de Geociencias II y Control y contaminación de suelos, gracias a estas asignaturas mi amor por la investigación creció, también por apoyarme en la elaboración de este estudio, a mi compañero José Herrera quien fue una pieza clave para la materialización de este proyecto, gracias por tu ayuda desinteresada y por ser una persona tan noble. A mis compañeros de carrera porque de cada uno de ellos aprendí algo nuevo, a mis eternos amigos de carrera Luis Alfredo, Giseth, el Nerio, Kevin, Marlyn, Yulieth y María Mónica, gracias por permitirme hacer parte de sus vidas y por permitirme conocerlos aprendí mucho de cada uno de ustedes, a la Universidad de Córdoba, por brindarme la oportunidad de estudiar y ser una profesional.

Por ultimo a la vida, porque he crecido, madurado y conocido muchas cosas que jamás pensé conocer. Muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCION	18
1. REVISION DE LITERATURA	21
1.1 ANTECEDENTES	21
1.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES	21
1.1.2 ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL	28
1.2 MARCO CONCEPTUAL	30
1.2.1 Minería	30
1.2.2 Minería a cielo abierto.....	31
1.2.3 Explotación minera y efectos generales	31
1.2.4 Minería en el departamento de Córdoba	35
1.2.4.1 Minería en el municipio de Puerto Libertador-Mina La Primavera	36
1.2.5 Marco legal de la minería a cielo abierto en Colombia.....	38
1.2.6 Carbón	38
1.2.6.1 Estéril de carbón	39
1.2.7 Restauración ecológica.....	41
1.2.8 Sucesión vegetal.....	42
1.2.9 Materia orgánica	43
1.2.9.1 Beneficios de la materia orgánica.....	44
1.2.10 Compostaje	46
1.2.10.1 Características del compostaje	47
1.2.11 Bovinaza	49

1.2.12 <i>Leucaena leucocephala</i>	51
2. MATERIALES Y METODOS	53
2.1 GENERALIDADES LUGAR DE ESTUDIO	53
2.2 DISEÑO EXPERIMENTAL	56
2.2.1 Elaboración del compostaje	56
2.2.2 Recolección del material bovino.....	57
2.2.3 Preparación de las plántulas	58
2.2.4 Recolección del estéril	60
2.2.5 Mezcla del estéril con materiales orgánicos	62
2.2.6 Incorporación de la planta	63
2.2.7 Seguimiento y cuidado	64
2.2.8 Observación suelo y plantas	64
2.2.9 Toma de muestras	65
2.2.10 Medidas de las variables de crecimiento de la planta	65
2.2.10.1 Crecimiento de la planta	65
2.2.10.2 Diámetro del tallo de la planta	65
2.2.10.3 Número de hojas	66
2.2.10.4 Área foliar	66
2.2.10.5 Masa seca	67
2.2.11 Análisis de Laboratorio	70
2.2.12 Análisis estadístico.....	70
3. RESULTADOS Y DISCUSION	72
3.1 Crecimiento <i>Leucaena leucocephala</i>	72
3.2 Diámetro del tallo de las plantas	75
3.4 Área foliar (cm ²)......	80

3.5 Masa seca	82
3.6 Análisis químicos de laboratorio	85
3.6.1 Potencial de acidez (pH) de los 3 tratamientos bajo la influencia de estériles de carbón.....	85
3.6.2 Carbono orgánico (C.O) de los 3 tratamientos bajo la influencia de estériles de carbón.....	87
3.6.3 Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva CIC_E de los 3 tratamientos bajo la influencia de estériles de carbón.....	89
3.6.4 Porcentaje de saturación de cationes.....	91
3.6.4.1 Calcio (Ca^{2+}) de los 3 tratamientos bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos.....	91
3.6.4.2 Magnesio (Mg^{2+}) de los 3 tratamientos bajo la influencia de estériles de carbón.	93
3.6.4.3 Potasio (K^+) de los 3 tratamientos bajo la influencia de estériles de carbón.	95
3.6.4.4 Sodio (Na^+) de los 3 tratamientos bajo la influencia de estériles de carbón.	96
3.6.5 Fósforo (P) de los 3 tratamientos bajo la influencia de estériles de carbón	98
3.6.6 Azufre (S) de los 3 tratamientos bajo la influencia de estériles de carbón ...	100
3.7 ESTRATEGIAS DE MANEJO AMBIENTAL	101
4. CONCLUSIONES.....	109
5. RECOMENDACIONES	111
6. BIBLIOGRAFIA.....	112
7. ANEXOS	125

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Impacto de la minería en el medio físico.....	33
Tabla 2. Impacto de la minería en el medio biótico	34
Tabla 3. Impacto de la minería en el medio socioeconómico y cultural.....	35
Tabla 4. Marco legal en Colombia	38
Tabla 5. Estrategias de manejo ambiental.....	101

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Localización mina La Primavera.....	55
Ilustración 2. Localización desarrollo del proyecto.....	56
Ilustración 3. Establecimiento del semillero	58
Ilustración 4. Siembra de las semillas	59
Ilustración 5. Germinación de las semillas.....	60
Ilustración 6. Recolección del estéril de carbón.....	61
Ilustración 7. Puntos de recolección del estéril	61
Ilustración 8. Mezclas del estéril con las enmiendas orgánicas	62
Ilustración 9. Incorporación de las plantas en los tratamientos.....	63
Ilustración 10. Medida de las variables de las plantas	64
Ilustración 11. Corte de raíz masa seca.	68
Ilustración 12. Material aéreo para estimación de masa seca.....	68
Ilustración 13. Secado en horno	69
Ilustración 14. Peso de masa seca.	70

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Composición de los tratamientos, mezclados homogéneamente en una proporción 80:20.....	63
Gráfica 2. Crecimiento de las plantas bajo la influencia del estéril de carbón en 3 tratamientos, T1 (estéril+bovinaza), T2 (estéril+compost) y T3 (100% estéril).	74
Gráfica 3. Crecimiento de las plantas en el último ciclo de muestreo de los 3 tratamientos de estéril de carbón, T1(estéril+bovinaza), T2 (estéril+compost) y T3(100% estéril)....	74
Gráfica 4. Diámetro del tallo de las plantas bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos, T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril).....	77
Gráfica 5. Diámetro del tallo en el último ciclo de muestreo de los 3 tratamientos de estériles de carbón. T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril)	77
Gráfica 6. Número de hojas de las plantas bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril).....	79
Gráfica 7. Número de hojas de las plantas de los 3 tratamientos de estériles en el último ciclo de muestreo T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril).....	80
Gráfica 8. Área foliar de las plantas bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril).....	82
Gráfica 9. Masa seca aérea bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril).....	84
Gráfica 10. Masa seca raíz bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril).....	84
Gráfica 11. Variable PH bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril).....	87
Gráfica 12. Variable C.O bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril).....	89

Gráfica 13. Variable CICE bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril).....	91
Gráfica 14. Variable Ca^{2+} bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril).....	93
Gráfica 15. Variable Mg^{2+} bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril).....	95
Gráfica 16. Variable K^{+} bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril).....	96
Gráfica 17. Variable Na^{+} bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril).....	97
Gráfica 18. Variable P bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril).....	99
Gráfica 19. Variable S bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril).....	101

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Análisis de laboratorio para las 9 muestras primer ciclo.	125
Anexo 2. Análisis de laboratorio para las 9 muestras segundo ciclo.....	135
Anexo 3. ANOVA para longitud del tallo	143
Anexo 4. ANOVA para Diámetro del tallo	143
Anexo 5. Comparaciones múltiples para diámetro.....	143
Anexo 6. Subconjuntos para diámetro	144
Anexo 7. ANOVA para número de hojas	144
Anexo 8. Comparaciones múltiples para número de hojas	145
Anexo 9. Subconjunto para número de hojas.....	145
Anexo 10. ANOVA para área foliar	146
Anexo 11. Comparaciones múltiples para área foliar	146
Anexo 12. Subconjuntos para área foliar	147
Anexo 13. ANOVA para masa seca aérea	147
Anexo 14. Comparaciones múltiples para masa seca aérea	148
Anexo 15. Subconjunto para masa seca aérea.....	148
Anexo 16. ANOVA para masa seca raíz.....	149
Anexo 17. Comparaciones múltiples para masa seca raíz	149
Anexo 18. Subconjunto para masa seca raíz	150
Anexo 19. ANOVA para pH	150
Anexo 20. ANOVA para C.O.....	150
Anexo 21. ANOVA para CIC _E	151
Anexo 22. ANOVA para Ca ²⁺	151
Anexo 23. ANOVA para Mg ²⁺	151
Anexo 24. ANOVA para Na ⁺	151

Anexo 25. ANOVA para K^+	152
Anexo 26. ANOVA para P.....	152
Anexo 27. ANOVA para S.....	152
Anexo 28. Tabulación de variables de crecimiento de las plantas.	153

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo generar un suelo artificial a través de la integración de estériles provenientes de la mina La Primavera, Puerto Libertador-Córdoba, los cuales se mezclaron con 2 tipos de enmiendas orgánicas para el establecimiento de dicho suelo y su previo aprovechamiento como una medida de restauración ecológica, donde se comparó la capacidad de cada mezcla en la formación del suelo y su influencia en el crecimiento vegetal. Se realizó un diseño experimental a escala de laboratorio, donde se emplearon mezclas de esteril+compost (T2) y esteril+bovinaza (T1) a una concentración de 80:20 respectivamente y esteril 100% (T3), a estas mezclas se les introdujo una planta denominada *Leucaena leucocephala* perteneciente a la familia de las leguminosas, el experimento para la toma de muestras de suelo se desarrolló en 2 ciclos, para la toma de datos de las variables de crecimiento de la planta se desarrolló en 3 ciclos todo en un lapso de cuatro meses y medio. Se obtuvieron diferencias significativas entre las variables de crecimiento de la planta y los tratamientos, donde T1 y T2 dieron los mejores resultados en las variables, siendo T2 el mejor tratamiento para diámetro del tallo y masa seca; y T1 el mejor tratamiento para número de hojas y por ende área foliar. En cuanto a las diferencias químicas entre los tratamientos, no se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos.

ABSTRACT

The objective of this research work is to generate an artificial soil through the integration of sterile materials from the La Primavera mine, Puerto Libertador-Córdoba, which were mixed with 2 types of organic amendments for the establishment of said soil and its previous utilization as a measure of ecological restoration, where the capacity of each mixture in the formation of the soil and its influence on plant growth was compared. An experimental design was carried out at laboratory scale, where mixtures of sterile + compost (T2) and sterile + bovine (T1) were used at a concentration of 80:20 respectively and 100% sterile (T3), these mixtures were introduced a plant called *Leucaena leucocephala* belonging to the family of legumes, the experiment for the taking of soil samples was developed in 2 cycles, for the data collection of the plant growth variables was developed in 3 cycles all in a lapse four and a half months. Significant differences were obtained between the variables of plant growth and treatments, where T1 and T2 gave the best results in the variables, with T2 being the best treatment for stem diameter and dry mass; and T1 the best treatment for number of leaves and therefore foliar area. Regarding the chemical differences between the treatments, no significant differences were found between the treatments.

INTRODUCCION

El presente estudio aborda la posibilidad de crear un suelo artificial a través de los residuos generados en la minería de carbón, esto como una medida de aprovechamiento y restauración de los suelos afectados por dicha actividad. El campo energético se está convirtiendo en un insumo que adquiere mayor importancia para el desarrollo de los países, lo que conlleva a la búsqueda de nuevas fuentes de energía las cuales traen consigo tanto ventajas como vulnerabilidades, existen fuentes mixtas para la generación de energía como el agua, el gas y el carbón (Castro, 2000) las cuales son empleadas como fuentes energéticas de diversos países.

La industria minera es un componente esencial para el desarrollo de un país, pero dicha actividad trae consigo problemas ambientales a causa de la generación de diferentes residuos (Gil & Triviño 2015), los estériles y desechos se encuentran dentro de los residuos sólidos que son generados en las actividades mineras, siendo estos los más importantes en términos de volumen (Sánchez, 1995). Estos materiales se caracterizan por no poseer ningún uso después de ser desechados en las minas, lo que genera grandes acumulaciones de material que afecta al medio en el que son depositados. Dentro de las consecuencias que tiene la minería a cielo abierto encontramos cambios en las formas del relieve, modificando la estructura geológica, la destrucción del suelo, conllevando a la

degradación del mismo, se pueden producir alteraciones del recurso hídrico y la modificación de los procesos naturales de erosión, arrastre y sedimentación, o por movimientos en masa (Arranz, 2015), es así como la transformación y pérdida de ecosistemas naturales se encuentra ligada al sustento humano, así como a la demanda de recursos para la industria (López, 2013).

Es ampliamente conocido, que la extracción de minerales causa grandes impactos en los terrenos circundantes a la zona de actividad, especialmente en la minería a cielo abierto, la cual puede provocar alteraciones no solo de orden estético o paisajístico, sino también morfológico, hidrológico, edafológico, faunístico y florístico (Gil, 1997). Los fuertes impactos ambientales ocasionados por la minería a cielo abierto, hace de la restauración una necesidad urgente (Alday, 2011), por lo que surge el interés de desarrollar medidas sostenibles, donde se puedan aprovechar los materiales de desecho de las minas y a su vez estos sirvan como una medida de restauración para las zonas que se encuentran afectadas por la minería.

Los procesos erosivos se desarrollan en las zonas de explotación minera y las limitaciones físicas y químicas del suelo se hacen presentes siendo más frecuentes. La revegetación de suelos alterados es una práctica común de restauración (Blum et al., 2006), la restauración de las áreas afectadas por la minería se convierte en una forma de remediar este efecto, los objetivos de dicha medida es conseguir una restauración del suelo a través de una cobertura vegetal estable y control de erosión (Monterroso et al., 2004). La creación de ecosistemas auto-suficientes a largo plazo es el principal objetivo de la restauración ecológica, donde la vegetación podrá asemejarse a la existente antes de la actividad minera (Hobbs & Northon 1996).

Para el desarrollo de este proyecto, se propuso un estudio exploratorio, donde se elaboró un montaje experimental a escala de laboratorio, empleando 3 tratamientos para la generación de un suelo artificial, un tratamiento de estéril al 100%, los restantes de estéril + bovinaza y estéril + compostaje a una concentración de 80:20 respectivamente, cada tratamiento consto de 3 repeticiones. Se incorporó una planta como indicador de cada tratamiento, donde se analizaron las variables como el grosor del tallo, numero de hojas, longitud, área foliar y biomasa, a su vez se desarrolló un análisis químico del suelo, analizando elementos mayores y menores.

De esta manera el objetivo principal de esta investigación es la generación de un suelo artificial como medida de aprovechamiento y restauración ecológica a través de la integración de estériles de carbón provenientes de la mina la primavera, Puerto Libertador – córdoba analizando su influencia en el material vegetal.

A lo largo de este trabajo se encontrará una revisión de literatura con antecedentes nacionales e internacionales que sirven como fuente de conocimiento de otros estudios realizados bajo circunstancias similares, a su vez se encontrara un marco teórico abordando conceptos necesarios para el entendimiento del proyecto. La parte metodológica nos explica el desarrollo del montaje experimental y por último los resultados, que se obtuvieron a través de medidas directas y análisis de laboratorio analizándolos respectivamente haciendo uso de modelos estadísticos.

1. REVISION DE LITERATURA

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

En un estudio realizado en España, por (Arranz, 2011) titulado “suelos mineros asociados a la minería de carbón a cielo abierto en España: una revisión”. Se encontró que existen diversas situaciones que pueden encontrarse en una posterior extracción minera, como lo pueden ser el abandono de huecos y escombreras, hasta suelos artificiales los cuales son formados por capas de suelo, rocas excavadas o ambos materiales, a estos suelos se les denomina suelos mineros y han sido estudiados para evaluar el potencial de rehabilitación y su evolución edáfica. Estas nuevas superficies en algunos lugares han sido colonizadas por la vegetación de forma natural o porque han sido revegetados, lo cual conlleva a un proceso de formación de suelo.

De acuerdo a esta revisión con base a suelos mineros de carbón, las propiedades químicas de estos pueden ser variables, pues se cree que los terrenos alterados por la minería en donde se incorpora un nuevo suelo no tiene materia orgánica. Aunque contrario a esto dentro de la literatura consultada por el autor encontró que (Adams & Stevenson, 1964) han sugerido que el N retenido dentro de los minerales silicatados puede servir como fuente para las plantas pioneras sobre paisajes estériles. A su vez (Li & Daniels, 1994) afirmaron que pueden existir importantes cantidades de N en los estériles frescos de

carbón. Ambos autores sugieren que este nitrógeno se encuentra en forma de ion amonio ligado a las micas y de nitrógeno orgánico no hidrolizable procedente de carbón. En su extensa revisión (Arranz, 2011) encontró que (Vandever & Sencindiver, 1982) afirman que ciertas capas de recubrimientos de carbón pueden contener cantidades especiales de nitrógeno.

De acuerdo a esta revisión no es claro en qué medida puede haber N disponible, aunque por criterio práctico puede asumirse que inicialmente estará ausente ocasionando así que sea imposible para la vegetación establecerse correctamente, generando así problemas de erosión, por ello el autor hace alusión a un aporte estándar sugerido por (Daniels & Zipper, 1997), donde se espera que estas necesidades sean cubiertas por fijación biológica a través de la introducción de leguminosas. Esta metodología con aporte de N y siembra de formaciones de gramíneas y leguminosas llevó a que con el paso de los años se acumularan hasta 0,13% de N en los horizontes superficiales de las escombreras de Meirama en España.

De acuerdo a (Leiros de la Peña et al., 1989) otro elemento limitado puede ser el P, donde en las escombreras en As Pontes y Meirama los niveles de P fueron muy variables y siempre bajos de P extraíble con ácido acético en los estériles. En esta revisión también son citados enmendantes orgánicos que pueden encontrarse próximos a algunas áreas de explotación de carbón los humatos o leonarditas. Los humatos contienen materia orgánica que es semejante en muchos aspectos a la que se encuentra de forma natural en los suelos y de acuerdo a (Gosz et al., 1977) suele evaluarse por su contenido en ácido húmico extraíble con hidróxido sódico.

(Blasco Galve et al., 2002) describieron experimentos para evaluar diferentes tipos de enmiendas a los suelos del entorno del humedal de la Corta Alloza (Teruel) seleccionando las leonarditas procedentes de la explotación minera de carbón Corta Barrabasa. Los resultados indicaron que la enmienda con leonardita mejoraba la calidad del sustrato y del agua comportándose como un fertilizante gradual de nitrógeno en forma de nitratos reduciendo la conductividad del agua y aumentando su pH. En cuanto a la acidez la oxidación de los disulfuros de hierro acompañantes del carbón y las capas próximas pueden ser determinantes en el pH de los estériles y suelos mineros. En el caso del carbón, la gran mayoría de los sulfuros asociados se dan en forma de piritita y marcasita ambas con un 53,4% de S. sin embargo (Daniel & Zipper, 1997) han afirmado que el pH puede cambiar rápidamente cuando los fragmentos rocosos se alteran y oxidan pudiendo en pocos meses pasarse de 8 a 3 en el mismo punto.

En un estudio realizado en España por (Fueyo et al., 1991) titulado “utilización de los estériles del carbón en agricultura resultados preliminares” se encontró que en base a los estudios realizados el artículo da a conocer 4 usos que pueden tener los estériles de carbón, donde se encuentran: evaluación agronómica, mejora de suelos arcillosos, mejora de la fertilidad y sustratos de cultivo sin suelo y en contenedor.

A consideración de este estudio de interés y desarrollo investigativo se considera el tercer estudio, el cual consiste en estériles de carbón como mejorador de la fertilidad del suelo. Para este estudio los estériles seleccionados fueron: menudos de escombrera, finos de lavadero y mezcla de finos y menudos de lavadero.

Se aplicaron dosis de 2, 4, 6 y 8% del peso del suelo, que se corresponden con 6, 12, 18 y 24kg de estéril por m², respectivamente. El experimento se complementó con el control

(suelo) y tres tratamientos referentes a aportaciones de 4% estéril+150g/m² sulfato de potasa, 4% estéril+200g/m² de humus de lombriz y 150g/ m² de sulfato de potasa+200g/m² de humus de lombriz. Debido al escaso o nulo contenido de estériles de carbón en nitrógeno y fósforo estos nutrientes se suplementaron anualmente en forma de abonos minerales comerciales a las parcelas, incluidas las que contenían estériles. En 1990 la alternativa fue patata-tomate.

Para los resultados obtenidos en patata en 1990 y 1991 no hubo respuesta apreciable para ningún tratamiento. En cuanto a la producción de tomate este reflejo el mismo comportamiento, sin embargo, a favor del estéril se presentaron ventajas con respecto al control (suelo), incluso frente a las parcelas donde se aplicó K₂O y humus (8.8 kg/m²) que junto al fosforo y nitrógeno aportados a todos los tratamientos, representó un abono orgánico-mineral aceptable, encontrándose una producción entre 9kg/m²-9.9kg/m² en los diferentes lugares de cultivo donde fueron aplicados.

Un estudio denominado “fitorremediación del vertedero de minas de carbón mediante un enfoque biotecnológico integrado” elaborado por (Juwarkar et al., 2007) en la India, se encontró que, para la elaboración de este estudio, el primer paso fue realizar caracterizaciones fisicoquímicas de la mina, donde se analizaron diferentes parámetros como densidad aparente, capacidad máxima de retención de agua y porosidad. Dentro de los parámetros químicos se determinaron pH y EC (conductividad eléctrica), en cuanto a los nutrientes se analizaron: nitrógeno total y disponible, fosforo y potasio, nitrógeno, carbono orgánico y metales pesados. Para la caracterización microbiológica se analizaron poblaciones microbianas como bacterias, hongos, actinomicetos y cepas fijadoras de nitrógeno.

Para llevar a cabo el estudio se utilizó lodo de planta de tratamiento de efluentes (ETP) el cual fue recolectado de una fábrica de papel y se le analizaron parámetros como el contenido de materia orgánica y la capacidad de retención de agua. Se aislaron cepas de biofertilizantes recolectando muestras de suelo rizosférico de plantas que crecen cerca de los vertederos de desechos de minas, esto con el fin de identificar hongos micorrizicos vesiculares arbusculares, para la selección de las especies vegetales para la fitorremediación fueron seleccionadas 12 especies teniendo en cuenta sus adaptaciones climatológicas y toxicidad por metales.

Centrándonos en los cambios de las características fisicoquímicas de la mina a causa de la modificación con lodos de ETP y biofertilizantes, la mina contaba con un pH moderadamente ácido haciendo así que el medio fuese hostil para el crecimiento de las plantas. Por este motivo se seleccionó un material de ETP cuyo pH es alcalino, mejorando significativamente el pH de 5.26 ± 0.46 a 7.35 ± 0.20 . De igual forma mejoró la conductividad eléctrica de 1.33 ± 0.25 a 3.25 ± 0.8 mS/cm. La modificación de la mina con ETP resultó con una mejora del estado del calcio, magnesio y potasio. El carbono orgánico también aumentó a $2.03 \pm 0.13\%$ en contraste con $0.73 \pm 0.08\%$ en el control. Los cambios en las características físicas a causa de la enmienda con lodos y ETP a 50 ton/ha disminuyó la densidad aparente a 1.27 ± 0.04 g/cm³ la cual era alta por la compactación masiva, a su vez se presentó un aumento en la capacidad de retención máxima de agua la cual pasó de $35.55 \pm 3.38\%$ a $45.88 \pm 5.83\%$ y la porosidad aumentó de $37.41 \pm 4.66\%$ a $54.87 \pm 0.35\%$.

En cuanto a los cambios en las características microbianas con lodos de ETP y biofertilizantes los análisis revelaron mejoras en los grupos microbianos 36 meses después de aplicada la mejora, la población bacteriana aumentó de 9.0×10^1 a 8.3×10^4 y de 6.0×10^1

a 9.0×10^4 UFC/g respectivamente. Para las cepas inoculadas de fijadores de nitrógeno *Rhizobium* y *Azotobacter* mostraron un aumento en el rango de 5.2×10^7 y 6.8×10^7 UFC/g respectivamente, las esporas VAM aumentaron a 44/g de despojo.

Los cambios en los nutrientes de la mina revelaron mejoras significativas en el estado de los nutrientes después de 36 meses el contenido total de nitrógeno mejoro, paso de $0.14 \pm 0.04\%$ a $0.67 \pm 0.40\%$. El contenido de fósforo (P) y potasio (K) mejoró a $0.51 \pm 0.07\%$ y $0.46 \pm 0.10\%$. mejoraron también el contenido de nutrientes disponibles con respecto al nitrógeno, fósforo y potasio a $0.13 \pm 0.008\%$, $0.17 \pm 0.008\%$ y $0.16 \pm 0.0017\%$. El aumento en el contenido del nitrógeno se debe a la modificación con biofertilizantes los cuales ayudan a la fijación biológica del nitrógeno.

Se concluye así que la modificación con ETP a 50 Ton/Ha junto con los biofertilizantes ayudo a mejorar las condiciones fisicoquímicas del vertedero de residuos de la mina de carbón. La materia orgánica y los nutrientes N, P y K, aumentaron mejorando así fertilidad y productividad.

El trabajo elaborado por Firpo et.al en Brasil en el año 2017 titulado “sustrato similar a un suelo derivado de residuos de carbón: una oportunidad para residuos de carbón en un escenario mineral sostenible” tuvo como objetivo procesar desechos de carbón para generar un sustrato similar al suelo (SLS) derivado del carbón, de esta forma fueron seleccionados cuatro materiales dentro de los que se encontraban: residuos de carbón (CW), siendo el constituyente primario, escoria de acero como fuente de alcalinidad y micronutrientes, lodos de depuradora como suministro de materia orgánica y nutrientes, por ultimo cenizas de cascara de arroz para mejorar la estructura física.

Para la selección del desecho de carbón se tuvo en cuenta la densidad de los materiales y las características químicas de estos donde la fracción de baja densidad ($CW < 2.2$) era rica en carbono 34.2% y la fracción de alta densidad alta ($CW > 2.6$) tenía un contenido de azufre piritico del 32.8%. Para el estudio se tomó la fracción intermedia $CW 2.2-2.6$ la cual tenía menor contenido de carbono 4.1% y azufre total 0.8% entre las fracciones, el contenido de azufre piritico fue bajo 0.5%.

Después de realizada la mezcla entre $CW 2.2-2.6$, lodos de depuradora, escoria de acero y ceniza de cascara de arroz, se pudo observar el crecimiento que las plantas presentaron, teniendo una altura máxima de *M. Maximus* (*Megathyrsus maximus*) la cual es un pasto guinea 100 días después de la siembra. Las plantas crecieron más de 50cm sin indicar deficiencias nutrimentales en sus tejidos vegetales. Los valores de masa seca fueron de 20.8g, con 14.5g y 6.3g respectivamente para tejidos aéreos y radicales. El azufre total presento un valor promedio de 0.2% para las partes aéreas y 0.4% para las raíces.

El porcentaje de especies de azufre (S-total, S-SO₄, S-FeS₂, S-orgánico) en el SLS antes y después de la siembra, el contenido total de azufre indica casi la misma concentración antes y después del crecimiento de *M. Maximus*, llegando a mostrar una mínima adición de azufre por irrigación y perdidas por lixiviación o absorción de la planta. Cabe resaltar que, aunque el contenido total de azufre no cambio, la especiación sí. De acuerdo a los datos las mezclas de SLS mostraron una reducción del 50% de S-FeS₂ durante el crecimiento de *M. Maximus* habiéndose convertido en S-SO₄ (aumento del 9%) y S-orgánico (aumento del 50%) después de 100 días, esto guarda relación con la exposición de la piritita a un medio oxidante (agua y oxígeno), la actividad microbiana del suelo y los ácidos orgánicos secretados por las raíces.

En cuanto a los parámetros de fertilidad para el SLS 100 días después del crecimiento de *M. Maximus* mostro un contenido de arcilla muy bajo lo cual podría llegar a ocasionar limitaciones en el suministro de agua durante los periodos de sequía. El pH del suelo 5.0 fue más bajo de lo esperado, pero aun así no lo suficiente para comprometer el suministro de nutrientes. Los resultados mostraron una alta capacidad de intercambio de cationes (CEC) lo cual indica muy buena capacidad para retener nutrientes y evitar pérdidas por lixiviación siempre que el pH se mantenga circumneutral (casi neutral), es decir un pH entre 6.5 y 7.5. En cuanto a nutrientes macro y micro estaban presentes y disponibles en concentraciones por encima de niveles críticos indicando que no era necesario realizar una aplicación de estos nutrientes.

En conclusión, el crecimiento de *Megathyrsus maximus* var. *Maximus* fue factible y apoyo la idea de la transformación de los desechos en suelos lo cual el desarrollo de estos SLS en escenarios mineros puede ayudar a reducir los impactos ambientales asociados al desperdicio de carbón.

1.1.2 ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL

Un estudio desarrollado por Rozo en el año 2007 en Bogotá titulado “efecto de la aplicación de mezclas de biosolidos y estériles sobre las primeras etapas de la sucesión en la antigua arenera Juan Rey, Bogotá-DC” donde su zona de estudio se encuentra ubicada en la localidad de San Cristóbal, en la parte sur oriental de la Ciudad de Bogotá D.C y hace parte del parque ecológico distrital de Montaña Entrenubes. De acuerdo a (Delgado & Mejía, 2002) citados en el presente artículo en la zona se registra activamente la explotación de materiales a cielo abierto entre los que se encuentran gravas, arcillas, piedras para machacar entre otros.

El experimento consistió en un diseño factorial de una sola vía de bloques al azar, empleándose diferentes proporciones volumen a volumen de biosólidos y estériles de canteras, en total se implementaron 6 tratamientos aplicándolos sobre 18 parcelas, las cuales fueron dispuestas en tres bloques de seis parcelas cada uno. El biosólido provino de la planta de tratamiento de aguas residuales el salitre y los estériles de cantera fueron mezclados previamente de acuerdo a los respectivos tratamientos.

El muestreo se realizó a los dos meses de iniciado el experimento en los diferentes tratamientos eligiendo tres puntos al azar de cada tratamiento dentro de su respectiva parcela. Para el análisis estadístico se realizó un análisis de varianza de una sola vía con un solo factor de variación, en este caso los biosólidos en diferentes concentraciones. Para conocer si dicha diferencia existía en valores de riqueza, porcentaje de cobertura y diversidad, se aplicó un análisis ANOVA de medidas repetidas.

En cuanto a los resultados se encontraron 28 morfoespecies. A los dos meses de iniciado el experimento no se reportó ninguna especie de cobertura vegetal, para el segundo muestreo la cobertura de la vegetación aumento y presento valores cercanos al 40%. A partir del tercer quinto mes el proceso de colonización y formación de cobertura se evidencia con la presencia de plántulas, de esta forma a los cinco meses de montado el experimento se pudo evidenciar la colonización especies pioneras, reportándose un promedio de cobertura de 5.44%. Los valores máximos estuvieron en el T4(8/1) con un 8.37% y T2(2/1) con 7.91%, el valor más bajo fue el del T3(4/1) con un 1.30%. Para el tercer muestreo la cobertura de la vegetación se incrementó y presentó un valor promedio de 44.6% por parcela, en este muestreo se presentaron diferencias significativas en los

valores de cobertura de los diferentes tratamientos, los valores más altos se presentaron en los tratamientos T3(4/1) y T5(Bio) con 58.34% y 51.65%.

1.2 MARCO CONCEPTUAL

1.2.1 Minería

Los minerales son elementos bases para la mayoría de las industrias, presentándose así algún tipo de minería en todos los países, teniendo repercusiones económicas, ambientales, sociales y laborales, a su vez esta representa una parte significativa del PIB en muchos países (Jennings, 2001)

La minería es conocida como una actividad productiva que extrae, procesa y transforma minerales o materiales del subsuelo o suelo para fines industriales, energéticos, entre otros (MINSALUD, 2015). El auge minero en el mundo ha sido muy notable en los últimos años, el incremento de los precios internacionales de sus productos genera un dinamismo en la inversión, donde América Latina no es ajena al fenómeno (ANDI, 2008), mostrando así mayores avances en este sector (Banco Mundial, 2002).

Colombia es un país privilegiado por su marco geológico, pues posee dos grandes provincias geotectónicas como el Cinturón Andino y el Escudo Amazónico los cuales presentan variedad de ambientes geológicos propicios para descubrir yacimientos de minerales y piedras preciosas, metales básicos, productos mineros industriales, rocas ornamentales, uranio y carbón (MINMINAS, 2018).

Dentro del marco minero colombiano, el producto minero que genera mayor aporte al PIB es el carbón, acercándose a una producción anual de 85 millones de toneladas, actualmente el país cuenta con unas reservas de carbón de 6.500 millones de toneladas y unos recursos

potenciales estimados en 15.000 millones de toneladas, que representan el 90% del carbón metalúrgico y el 47% del carbón térmico de la región (Centro, Suramérica y el Caribe) (ANM, 2013).

1.2.2 Minería a cielo abierto

El método de extracción en una mina depende de factores como: la topografía, la geología de las rocas de las capas superiores, la forma del filón y los requisitos o limitaciones ambientales. La minería de carbón a cielo abierto varía de acuerdo a la topografía, pues dependiendo de esta se pueden aplicar diferentes técnicas, el área de extracción y los factores ambientales (Hermann, 2001).

Como objetivo principal de la minería a cielo abierto encontramos es extraer la mínima cantidad del material y obtener una máxima recuperación de la inversión procesando el producto mineral más comerciable. Dentro de los métodos convencionales de la minería a cielo abierto, encontramos dos categorías principales que son la minería a cielo abierto y la minería de extracción a cielo abierto, diferenciándose estas en la localización del mineral y su forma de extracción mecánica, para la minería de extracción a cielo abierto se utilizan maquinaria como palas, camiones, dragalinas, excavadoras de ruedas de cangilones y cucharas de carga y se extrae el mineral próximo a la superficie y que se presenta en vetas planas o tabulares. En cuanto a la minería a cielo abierto este método es utilizado para extraer mineral consolidado que esta diseminado o en vetas profundas utilizando por lo general palas y camiones (Hethmon & Dotson, 2001).

1.2.3 Explotación minera y efectos generales

Dentro de las actividades productivas se generan riesgos antrópicos en las áreas donde se realizan y el área de influencia (Mejia et al., 2011), añadido a esto encontramos también los efectos en las comunidades que habitan estas tierras. Las empresas pueden contar con la capacidad de exigir que un pueblo desocupe el terreno que habita, que los terrenos ya no sean dedicados a la siembra de alimentos, la actividad forestas y la silvicultura (López & Eslava, 2011). Las empresas mineras en sus actividades productivas violentan derechos fundamentales, principalmente a las comunidades que se encuentran presentes en la región y los de los núcleos agrarios, provocando conflictos sociales, de igual forma el medio ambiente puede verse afectado debido a la alta demanda de agua para la explotación de los minerales (Cárdenas, 2013).

La minería tiene una estrecha y obvia relación con el ambiente, que es donde sus actividades generan diversos impactos, como el impacto en áreas silvestres (Retamal, 2015). El impacto ambiental es la repercusión o alteración positiva o negativa en el ambiente provocada por la acción antrópica, los impactos ambientales pueden identificarse como: impactos en el medio físico (Tabla 1), impactos en el medio biótico (Tabla 2) e impactos en el medio antrópico (Tabla 3) (Mena, 2015).

Tabla 1. Impacto de la minería en el medio físico

Factor Ambiental		Acción / Actividad	Impacto
Climatología	Calidad del aire	Perforación, carga y voladura. Transporte de maquinaria. Movimiento de tierras. Formación de escombreras. Preparación mecánica (Vía seca)	Emisión de polvo y gases a la atmósfera. Emisión de ruidos y Vibraciones.
Hidrografía	Aguas Superficiales	Excavaciones, Perforaciones. Preparación mecánica (Vía húmeda)	Alteración de la calidad por deposición
	Aguas Freáticas	Vías de transporte. Infraestructura.	Contaminación de los acuíferos locales por las aguas residuales.
Geología y Geomorfología	Geología Regional. Geología Local. Topografía.	Residuos de estériles. Perforaciones y Fragmentación. Construcción de taludes. Construcción de viales.	Aumento de los procesos erosivos. Cambios en la topografía.
Paisaje		Desbroce de la vegetación. Residuos de estériles. Perforación, carga y voladura. Abandono de la mina. Construcción vial. Infraestructura.	Alteraciones de la calidad visual

Fuente: Efecto sobre el ambiente de la explotación del yacimiento de calizas “El Pilón”

(2015). Elaborado por Mena, I.

Tabla 2. Impacto de la minería en el medio biótico

Factor Ambiental	Acción / Actividad	Impacto
Flora	Desbroce de la vegetación. Perforación, carga y voladura. Construcción vial. Residuos de estéril. Abandono de la mina. Infraestructura.	Remoción de la vegetación y deforestación.
Fauna	Construcción vial. Perforación, carga y voladura. Excavaciones. Transporte de material. Desbroce de la vegetación. Infraestructura. Residuos de estéril.	Alteración del Hábitat natural y desplazamiento de la fauna
Equilibrio Ecológico	Perforación, carga y voladura. Desbroce de la vegetación. Construcción vial. Abandono de la mina. Escombreras. Excavaciones. Movimientos de tierras. Acarreo de material.	Pérdida de la biodiversidad.

Fuente: Efecto sobre el medio ambiente de la explotación del yacimiento de calizas “El Pílon” (2015). Elaborado por Mena, I.

Tabla 3. Impacto de la minería en el medio socioeconómico y cultural

Factor Ambiental	Acción/Actividad	Impacto
Economía	Comercialización Construcción de vías Infraestructura Transporte	Aumento de empleo. Aumento de la demanda por servicios sociales.
Vialidad	Construcción de vías. Abandono de la mina. Desbroche de la vegetación.	Incremento en el número de accidentes.
Salud	Infraestructura. Transporte. Emisión de gases contaminantes.	Aumento en el número de enfermedades.
Cultura	Comercialización.	Enriquecimiento de la diversidad cultural. Pérdida de la identidad cultural.

Fuente: Efecto sobre el medio ambiente de la explotación del yacimiento de calizas “El Pilón” (2015). Elaborado por Mena, I. (Mejorado)

1.2.4 Minería en el departamento de Córdoba

En el departamento de Córdoba de acuerdo al último catastro actualizado en mayo 23 del 2017 existen 106 títulos mineros los cuales representan un área de 124512,4881 ha. Cabe resaltar que, dentro de este marco, podemos encontrar actividades mineras legales, las ilegales y las tradicionales enmarcándose en la minería ilegal y tradicional aquella que corresponde a oro, plata y platino. Hay 44 títulos en exploración, 8 en construcción y montaje y 54 en explotación, por tipo de material se encuentran 15 de carbón, 1 de carbón-otros minerales, 42 de materiales de construcción, 3 de materiales de construcción-otros minerales, 4 de níquel-otros minerales, 6 de oro y metales preciosos, 1 de oro y metales preciosos-carbón-níquel, 1 de oro y metales preciosos-carbón-otros minerales, 18 de oro

y metales preciosos-otros minerales y 13 de otros minerales. La explotación de Níquel en el país es realizada por el Proyecto Cerromatoso S.A. y proviene de los municipios de Montelíbano y San José de Uré, la producción de oro y plata proviene principalmente de los municipios de Ayapel, Puerto Libertador y San José de Uré, la de platino de Ayapel y Planeta Rica de carbón del municipio de Puerto Libertador y de materiales de construcción de los municipios de Montería, Ciénaga de Oro, Montelíbano, Puerto Libertador, Tierra Alta y Planeta Rica. Entre 2012 y primer 2017, la participación de Córdoba en la producción de minerales del país fue de: níquel 100%, materiales de construcción 1.64%, y dentro del marco de la minería no legalizada y tradicional encontramos oro 0.9%, plata 0.4%, platino 0.004% y carbón 0.4% (ANM, 2017).

1.2.4.1 Minería en el municipio de Puerto Libertador-Mina La Primavera

El Municipio de Puerto Libertador cuenta con la característica de poseer una economía basada en la agricultura, la ganadería y la minería. En la actualidad, se extrae carbón en la Mina La Primavera, localizada en el municipio de Puerto Libertador-Córdoba, el inicio de actividades se dio el día 4 de abril de 2016 (desmonte y limpieza para el proyecto) y la extracción minera se da por el sistema de explotación a cielo abierto, método que continua vigente hasta la fecha, cuentan con un área de explotación de 30 ha y el área de estériles abarca los 50000 m².

El 8 de abril de 2008 la Empresa SEELIG ROAD GROUP INC. Celebró con INGEOMINAS un contrato para la exploración y explotación de un área de 1.913 hectáreas localizadas en inmediaciones del Municipio de Puerto Libertador, Departamento de Córdoba (contrato de concesión GCT-081). Mediante resolución No. 2-

1677 del 23 de diciembre del 2015, la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge – CVS, otorga Licencia Ambiental a la empresa SEELIG ROAD GROUP INC.-JUAN MANUEL RUISECO V. CIA S. C. A. - ZANESFIELD TRADE COMPANY INC (Herrera, 2018).

De acuerdo a la agencia nacional de minería el proyecto cuenta con el código de registro minero LH3-10081, con estado de TITULO VIGENTE-EN EJECUCION, con una fecha de inscripción del día 21 del mes 08 en el año 2012 y fecha de terminación del día 20 del ms 08 del año 2042. Como titular aparece (8901072616) Juan Manuel Ruiseco V. y CIA. S.C.A. Dentro de los minerales se tienen DEMAS_CONCESIBLES/CARBON TERMICO, con una modalidad contrato de concesión (L685). (Pág. web Agencia Nacional de Minería, 2018).

1.2.5 Marco legal de la minería a cielo abierto en Colombia

Tabla 4. Marco legal en Colombia

NORMA	ASPECTOS
Ley 1382/10	Código de minas
Dec 1886/15	Por el cual se establece el reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas
Dec 1666/16	Por el cual se adiciona el decreto único reglamentario del sector administrativo de minas y energía. 1073 de 2015, relacionado con la clasificación minera
Dec 1073/15	Por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector administrativo de minas y energía
Dec 2222/93	Reglamento de higiene y seguridad en las labores mineras a cielo abierto
Dec 035/94	Seguridad Minera
Dec 2656/88	Fondo de fomento de Carbón
Dec 2636/94	Explotaciones de pequeña minería
Dec 501/95	Inscripción de títulos mineros en registro minero
Dec. 2713/11	Por el cual se modifica el artículo 46 del Decreto 2820 de 2010

1.2.6 Carbón

Los minerales son conocidos como sustancias naturales homogéneas, de origen inorgánico, por lo que la definición excluye las sustancias generadas por materia orgánica en ambientes reductores como lo es el carbón. El carbón está compuesto principalmente por carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y azufre, y su origen se debe a transformaciones físicas y químicas de acumulaciones vegetales depositadas en ambientes palustres, lagunares o deltaicos (UPME, 2005).

El carbón es el combustible fósil más abundante en la naturaleza, con 860.938 Mt. En reservas mundiales medidas a finales del 2010, se tiene que las mayores reservas por país se encuentran en Estados Unidos con el 27.6%, la Federación Rusa el 18.2%, China el 13.3%, Australia el 8.9% e India el 7.0%, mientras que Colombia se ubica en el decimoprimer lugar con 6.593,4 millones de toneladas equivalentes al 0.8% (UPME, 2012).

1.2.6.1 Estéril de carbón

En los casos de la minería subterránea y a cielo abierto, se da una generación-acumulación y de residuos sólidos estériles (Buchart, 2016), estos materiales son el resultado de la exploración y explotación del carbón mineral donde se generan residuos Semi-sólidos y sólidos, los residuos semisólidos son el resultado del lavado del carbón y las rocas de encaje son denominadas desechos sólidos, siendo estos conocidos como estéril de carbón (Gutierrez et al., 2017), estos residuos tienden a acumularse por largos periodos, generando pilas y botaderos de mina de manera indiscriminada (Zhengfu, 2010).

Dentro de la definición de estériles de carbón, podemos encontrar otras definiciones como lo son:

- Residuo de carbón: comprende a todos aquellos residuos que se generan en la explotación, preparación y utilización del carbón, es decir, lo que se produce en las explotaciones a cielo abierto, en las labores y trabajos subterráneos en roca y en el arranque en minas, los de lavado del carbón, los resultantes de su combustión y uso en procesos, como la ceniza volante, escorias, etc. (Instituto Tecnológico Geominero de España, 1995).

➤ Estériles de carbón: Según el manual de reutilización de residuos de la industria minera, siderometalúrgica y termoeléctrica, los estriles de carbón son aquellos residuos que se generan como consecuencia de la explotación de las minas de carbón, los del lavadero del mismo y los de las escombreras resultantes del almacenamiento de dichos residuos. Como se cita en el manual de reutilización de residuos de la industria minera, siderometalúrgica y termoeléctrica, no existe una normativa que regule la clasificación de los estériles de carbón, por lo que estos pueden dividirse de diferentes formas dependiendo del contexto en el que se desarrolle. De este modo según Gonzales y García los estériles de carbón pueden clasificarse en:

- Estériles de mina: son los procedentes de la explotación de las galerías y trabajos en roca y se caracterizan por una irregular granulometría y no estar degradados. Generalmente no poseen carbón. Representan aproximadamente, un 10% de la producción total de estériles.
- Estériles de lavadero: son los residuos sobrantes una vez separado el carbón del bruto procedente de la explotación de las capas mediante un proceso de lavado y se caracterizan por poseer unas composiciones granulométricas, mineralógicas y químicas muy regulares y no estar degradados ni disgregados a la salida de los lavaderos. Representan el 90% de la cantidad total de estériles. Poseen carbón en distintos porcentajes dependiendo del tipo de estéril, ya que se pueden dividir, en razón a los cortes granulométricos que se efectúan en los lavaderos, en:

Gruesos: tamaños mayores a 150 mm.

Granos: tamaño comprendido entre 150 y 10 mm.

Menudos: tamaños comprendidos entre 10 y 1 mm.

Finos: tamaños menores a 1 mm; están formados, fundamentalmente, por los estériles de flotación.

- Estériles de escombrera: son los resultantes del almacenamiento de los estériles de mina y lavadero en lugares dispuestos a tal efecto y se caracterizan por presentar una granulometría que varía según los tipos de estériles que se fuesen vertiendo y estar normalmente degradados y disgregados; a su vez, se subdividen en:
 - ◆ Estériles rojos: son aquellos que se han calcinado dentro de la escombrera debido a la auto-combustión del carbón que contienen y se caracterizan por presentar un color rojizo, no contener carbón, mayor resistencia a los calcinados y, a veces estar soldados unos a otros.
 - ◆ Estériles negros: son aquellos residuos que no han tenido procesos de auto-combustión.

1.2.7 Restauración ecológica

Existen numerosas situaciones en las que han sido descritas los disturbios en el ecosistema, no solo la situación se basa en una vegetación destruida, si no en una pérdida de suelo en un sentido pedológico o biológico (Bradshaw, 1983).

Las actividades desarrolladas por el hombre, suelen ser agresivas para la naturaleza, es aquí donde se centra el interés en la minería, ya que si no existe una restauración posterior los terrenos quedan degradados sin posibilidad de aprovechamiento. La revegetación suele jugar un papel importante pues posibilita: la restauración de la producción biológica del suelo, la reducción y control de la erosión, la estabilización de los terrenos sin consolidar,

la protección de los recursos hidráulicos y la integración paisajística (Ayala et al., 1900). El desarrollo de las sociedades genera la necesidad de mantener un alto gasto de energía, conllevando a la contaminación del entorno, a causa de esto, los países desarrollados están dándole importancia a los suelos afectados por diversas actividades, encontrándose la minería dentro de estas, donde se busca el desarrollo de la construcción artificial de suelos con subproductos mineros, siendo estos suelos denominados tecnosoles (Gallardo, 2017).

Las actividades mineras degradan el terreno, siendo la minería a cielo abierto la que más altere las características físicas y biológicas de la zona explotada (Bradshaw, 1997). La restauración de la cubierta vegetal en especial árboles y arbustos es compleja, pero dicha restauración en zonas mineras degradadas es un aspecto clave (Alday et al., 2013).

La restauración de suelos alterados por actividades mineras, es un proceso lento que necesita actuaciones tales como: caracterización de bancos de excavación, selección de estériles, preparación de superficies, aprovechamiento de tierra vegetal, modificación de características físico-químicas de los sustratos e implementación de la cubierta vegetal que es el fin fundamental en el tratamiento (Gil, 1997).

1.2.8 Sucesión vegetal

El termino de sucesión vegetal en las ciencias naturales se remonta al año 1860, donde el naturalista Henry David Thoreau lo propuso para un mejor entendimiento de los cambios de la vegetación (McIntosh, 1999). Para el año 1901 el botánico Henry Chandler Cowles describe los factores bióticos y abióticos que tomaban presencia en el proceso de sucesión vegetal (Guariguata, 2002).

Grandes áreas de bosque que poseen una elevada diversidad sufren una deforestación y degradación intensa como consecuencia de las actividades antropogénicas, es aquí donde la reforestación ecológica junto con la sucesión vegetal cobra importancia para la restauración de dichos lugares. La sucesión vegetal se entiende como aquel proceso que identifica los cambios que se presentan en un ecosistema cuando este ha sido perturbado, dentro de estos cambios encontramos cambios estructurales, composición taxonómica y las funciones del ecosistema (Martinez & Garcia, 2007). Es así como el desarrollo del ecosistema, la dinámica de la vegetación y el ensamblaje de las especies son los procesos ecológicos que proporciona la sucesión a través de un marco temporal (Alday, 2011).

1.2.9 Materia orgánica

La materia orgánica es considerada como aquel material de origen animal o vegetal, que regresa al suelo luego de un proceso de descomposición (FAO, 2013). En el suelo se presenta una relación intrínseca entre la materia orgánica (MO) y los minerales del suelo. Cada tipo de agregado posee una forma, tamaño, composición y estabilidad propia, estas características se relacionan directamente con la capacidad de la retención de la MO. Las características morfológicas del suelo (color, estructura, profundidad, espesura), y las condiciones ambientales regulan la tasa de descomposición de MO en el suelo, produciendo grupos funcionales carboxílicos, hidroxilicos, alifáticos y aromáticos; los cuales son responsables de las reacciones químicas y capacidad de absorción de materia orgánica en el suelo (Clabel et al., 2016).

La materia orgánica del suelo se encuentra en forma de Carbono Orgánico Particulado (COP), y corresponde al material más sensible a los cambios de manejo del suelo. El COP se divide en fracciones gruesas y finas; las fracciones gruesas representan el material más

activo, consiste en la materia orgánica parcialmente humificada, y la biomasa microbiana. Las fracciones delgadas, son aquellas asociadas a las fracciones más pequeñas del suelo o acillas, y es un indicador de calidad del suelo y su capacidad para proveer nutrientes (Beltrán et al., 2015).

El establecimiento de cultivos en el suelo provoca un cambio en sus propiedades, generando impactos negativos por los inadecuados manejos de cultivos, en los que se destacan procesos de degradación estructural, compactación del suelo, aumento de su densidad aparente, y disminución de la porosidad. Estos procesos disminuyen la capacidad de absorción de las raíces de las plantas, afectando la actividad biológica, y por ende la disposición de materia orgánica en suelo. (Murray et al., 2014). Todos estos fenómenos que se presentan en el suelo ocasiona una pérdida paulatina de materia orgánica, que se ve reflejada en el desempeño de los cultivos, y por ende surge la necesidad de la intervención del suelo mediante maquinaria agroindustrial, y fertilizantes, que contribuyen al calentamiento global generan graves afectaciones a los cuerpos de agua receptores (González & Saldarriaga, 2008).

1.2.9.1 Beneficios de la materia orgánica

A nivel mundial la demanda de alimentos es aún mayor, este fenómeno ejerce una mayor presión para la producción agrícola o desarrollo de cultivos, actividad en la cual se implementan un sin número de tecnologías con el fin de aprovechar al máximo el suelo para su producción en el menor tiempo posible. Esto obliga a que en el suelo se presenten condiciones óptimas para el desarrollo de los diferentes cultivos, y una de esas limitantes la representa la disponibilidad de nutrientes disponibles presentes en la materia orgánica (González & Saldarriaga, 2008).

La presencia de materia orgánica en el suelo está representada principalmente por la acción que desarrollan los microorganismos, durante el proceso de degradación de la materia orgánica los microorganismos generan un sin número de beneficios para el desarrollo de la vida vegetal, generan subproductos benéficos para las plantas, remueven sustancias tóxicas del suelo, degradan la materia orgánica en materiales absorbibles, fijan el nitrógeno atmosférico, entre otros (FAO, 2013). A nivel mundial se desarrollan biotecnologías como el uso de microorganismos eficientes, que transforman el material orgánico en sustancias disponibles para las plantas, en lapsos cortos de tiempo, y permiten que se implementen cultivos, y suplir las necesidades de la población en cuanto a los requerimientos alimenticios (Luna & Mesa, 2016).

La aplicación de material orgánico en zonas mediterráneas semiáridas, ha demostrado ser un factor fundamental para el desarrollo de procesos de rehabilitación de suelos. El impacto del ser humano sobre el suelo es cada vez más perjudicial, debido a la expansión de actividades como la agricultura extensiva, el sobrepastoreo, la deforestación y los incendios forestales; estos problemas se ven aumentados en zonas mediterráneas semiáridas debido a los periodos prolongados de sequía y lluvias intensas e irregulares. Estas condiciones dificultan la disponibilidad de agua y nutrientes para el crecimiento de las plantas en este tipo de zonas, el por ello que se hace necesaria la implementación de estrategias para la disponibilidad de enmiendas orgánicas como fuente de material orgánico, y que además se ha demostrado que, con la intervención de este tipo de material orgánico, aumenta la cantidad y disponibilidad de agua en el suelo (Hueso et al., 2017).

La materia orgánica del suelo es medida mediante los contenidos de carbono orgánico, y es un importante indicador, que se relaciona directamente con las condiciones físicas,

químicas y biológicas del suelo, y por ende con la calidad del suelo, sin embargo, su balance debe ser analizado analizando de igual forma otros parámetros importantes. El contenido de materia orgánica y la densidad aparente del suelo han sido utilizados como indicadores edáficos de calidad de suelos forestales (Romero et al., 2015).

1.2.10 Compostaje

El compostaje es una técnica cuya implementación se desarrolla desde hace 100 años, y surge como una tecnología eficiente para el aprovechamiento de residuos orgánico (Osorio, 2017). El compostaje es un proceso de transformación de la materia orgánica, proveniente de fuentes vegetales (rastros de cosechas, maderas, hojas verdes, etc.) y animales (estiércol fresco y/o estiércol almacenado), donde interviene microorganismos que aceleran el proceso de descomposición de la materia orgánica, obteniendo al final un abono orgánico humificado en distintos niveles (Chilon, & Chilon, 2015).

En un estudio realizado por (Sosa et al., 2017), se define el proceso de compostaje como:

“Un proceso biológico aeróbico en el que sustratos orgánicos son oxidados a formas biológicamente estables como el humus; los microorganismos transforman los compuestos orgánicos mediante reacciones metabólicas, en las que se separan los electrones de los compuestos y las estructuras de carbono se oxidan, generando dióxido de carbono y agua.”

El compostaje ha demostrado tener varias aplicaciones en procesos de obtención de material para rehabilitación de suelos (Romero et al., 2015), en la degradación de materiales contaminantes como hidrocarburos totales de petróleo, hidrocarburos

aromáticos, y plaguicidas (Sauri et al., 2002). Una aplicación reciente, consiste en el tratamiento de lodos de agar (cultivos de bacterias) de un laboratorio químico universitario, el cual demostró alta eficiencia del proceso de compostaje mezclando los residuos de agar del laboratorio con otros materiales orgánicos generados en la institución (cáscaras de naranja, mango, pepino, piña, cacao, jícama) como insumos para conformar la pila de compostaje (Sosa et al., 2017).

El compostaje se utiliza en a nivel doméstico como medida de aprovechamiento de los residuos orgánicos, y se consolida como alternativa eficiente para disminuir la cantidad de residuos que disponen las empresas públicas de recolección, transporte y disposición fina, y aumentar la vida de rellenos sanitarios (Campos et al., 2016). La valorización económica de los residuos orgánicos mediante procesos como el compostaje, se desarrollan principalmente en el sector agroindustrial, donde se utilizan los desechos de los cultivos mezclados con otros materiales, como material para la adecuación del suelo para próximos cultivos (Valor & Sánchez, 2013).

1.2.10.1 Características del compostaje

Es compostaje es una alternativa que proporciona la posibilidad de transformar los residuos orgánicos (restos de poda, de cosecha, de post-cosecha, estiércol, pasto, fruta caída, entre otros) en insumos agrícolas. Sin embargo, no todos los materiales transformados en procesos aeróbicos son considerados óptimos para su utilización ya que se pueden desarrollar sustancias fitotóxicas, biológico del nitrógeno, reducción de oxígeno, exceso de amonio y nitratos que pueden contaminar sustancias tóxicas, por lo

cual se hace necesario implementar las acciones de control necesarias durante la obtención del compost (FAO, 2013).

El compostaje se desarrolla en cuatro fases: una *mesófila*, donde la acción de los microorganismos genera un aumento de la temperatura hasta alcanzar unos 45°C, en esta fase se descomponen principalmente compuestos solubles lo que genera una disminución del pH (4.0 a 4.5) (FAO, 2013). En la segunda fase (fase *termófila*), se desarrolla un proceso de higienización debido al aumento de la temperatura hasta alcanzar temperaturas superiores a los 60°C, en donde los microorganismos mesófilos (bacterias y contaminantes de origen fecal) son erradicadas y reemplazadas por microorganismos termófilos capaces de degradar fuentes complejas de carbón como la celulosa y la lignina, y convierten el nitrógeno en amoníaco lo que provoca un aumento del pH (Campos et al., 2016).

Posteriormente, en la fase de enfriamiento la temperatura desciende (entre 40°C y 45°C) al igual que el pH, debido a que se agotan las fuentes de nitrógeno, y continúa el proceso de degradación del material orgánico. La fase final o de maduración, es un proceso a temperatura ambiente donde se producen ácidos húmicos y fúlvicos. (FAO, 2013).

Las condiciones finales del material de compostaje, están estrechamente relacionadas con los insumos a utilizar para su fabricación, según los materiales utilizados se aportan Carbono y Nitrógeno, cuya relación determina el éxito del compostaje, el rango ideal de C:N es de 25:1 a 35:1 (FAO, 2013). Existen varios parámetros para determinar el grado de calidad del material obtenido al finalizar la fase de compostaje, menciona un rango óptimo de pH de 5.5 a 8, un alto contenido de materia orgánica y baja conductividad

eléctrica (Sosa et al., 2017). En la normativa mexicana, se establecen índices de calidad del compost: humedad 25%, pH de 6.7 a 7.5, conductividad eléctrica $<4 \text{ dSm}^{-1}$, temperatura con una diferencia $<10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, respecto a la temperatura ambiente (NADF 020, 2011).

En Colombia se establecen algunas consideraciones en cuanto a las bacterias patógenas detectables en productos para la industria agrícola, tales como: *coliformes fecales* ($<1000 \text{ ufc/g}$ enterobacterias totales), *salmonella spp* (ausente en 25 g de producto), *enterococcus faecalis* (no detectable), huevos viables de Helminto/Ascaris (no detectables), hongos fitopatogenos (no detectable, según la especie vegetal) (NTC 5167, 2011).

Existen algunas estrategias que se ha implementado con el fin de mejorar las características del compost, es un estudio realizado por (Camacho et al., 2018), proponen los cultivos de microorganismos de montaña (MM) y lodos digeridos de biodigestor (LDBIO), como materiales con las condiciones óptimas para desarrollar acciones de mejoramiento en cuanto a la calidad del compost. Igualmente se ha utilizado compost enriquecido con microorganismo eficientes, yeso agrícola y humus de lombriz, para el establecimiento de cultivos agrícolas, obteniendo resultados muy favorables (Sosa et al., 2017).

1.2.11 Bovinaza

La bovinaza es un material orgánico generado a partir de heces de bovino (sólidas, líquidas o pastosas), disponible en estado puro o mezcladas con otros materiales (aserrín, cascarillas de arroz, cal agrícola, entre otros) (Cacua, 2008). En los últimos años se ha

optado por la utilización de este tipo de enmiendas orgánicas para el desarrollo de cultivos, ya que mejoran la calidad y productividad, y evitan el uso de fertilizantes y pesticidas, que aumentan la degradación del suelo (Larios, 2015).

La aplicación de bovinaza en diferentes cultivos ha mostrado resultados satisfactorios. En un estudio realizado por (Larios, 2015), se comparó el desempeño de cuatro materiales orgánicos (bovinaza, cerdaza, chachaza de caña, e hidropónico) en la producción de germinados de maíz, mostrando resultados favorables en el desempeño de la bovinaza como sustrato para el desarrollo vegetal.

Sin embargo, los procesos de aplicación de material orgánico como la bovinaza, la gallinaza, y los residuos vegetales, no resuelven todos los problemas asociados al manejo de suelo, principalmente los relacionados con fenómenos de escorrentía. Al aumentar la escorrentía, se facilita la pérdida de estructura del suelo, disminuyendo la infiltración, y la capacidad de almacenamiento de agua, lo cual se conoce como erosión hídrica (Alvarado et al., 2011), los problemas se agudizan cuando el establecimiento de cultivos se realiza en zonas de pendiente, donde el proceso de escorrentía es mayor. A largo plazo, la implementación de enmiendas orgánicas, acompañados de manejos inadecuados, no arroja resultados muy favorables para los establecimientos de cultivos en zonas de pendientes, y no son suficientes para disminuir riesgos por degradación física del suelo (Sarasty et al., 2017). Es indispensable realizar un control adecuado de diferentes factores como pendientes, porcentajes de humedad, temperatura, entre otros; para obtener resultados favorables en procesos de rehabilitación de suelo mediante materiales orgánicos (FAO, 2013).

La obtención de un material eficiente para adecuación de suelos, se obtiene mediante diferentes métodos, una de las estrategias para aumentar el carbono orgánico disponible en la bovinaza, consiste en el proceso de lombricompost. En la aplicación de esto proceso se han mostrado mayor disponibilidad de carbono orgánico en porcentajes por encima de 50%, utilizando diferentes de lombrices (*Gliricidia sepium* y *Pennisetum purpureum*) y variando los porcentajes de bovinaza (40% al 50%), obteniendo mejores resultados con porcentajes de bovinaza en 40%, y lombrices en 30% de *Gliricidia sepium* y 30% de *Pennisetum purpureum* (Castillo et al., 2016).

En relación con otros materiales orgánicos (como la gallinaza), la bovinaza ha mostrado una mejor eficiencia en cuanto al crecimiento de las plantas, factores similares en cuanto a área foliar, y peso fresco, y algunas desventajas relacionadas con el número de hojas y el índice de área foliar (Cerquera et al., 2015).

1.2.12 *Leucaena leucocephala*

La *Leucaena leucocephala*, conocida como guaje o huaxim, es una especie arbustiva originaria de Centro América. Sus hojas son bipinadas con 4 a 9 pares de pinas situadas a lo largo de su raquis de 15 a 20 cm de largo (Solorio & Solorio, 2008), alcanza alturas de 3 a 6 m (hasta 12 m) con un diámetro a la altura del pecho de hasta 25 cm. Se adapta a una gran variedad de condiciones climáticas, se desarrolla en ambientes adversos (humedad de 350 a 2.300 mm/año; temperatura promedio de 22°C a 30°C), crece en una amplia variedad de suelos, desde neutros, hasta alcalinos, siempre y cuando sean bien drenados, no compactados ni ácidos (López & Camargo, 2014).

Tiene una amplia aplicación en sistemas de pastoreo como alimento para ganado, ya sea de manera conjunta con pasturas o como bancos de proteína, gracias a su alta carga de nutrientes (Solorio & Solorio, 2008). Igualmente ha sido utilizada en sistemas silvopastoriles, de manera simbiótica con bacterias de género *Rhizobium*, mejorando la absorción de nitrógeno por las plantas de leguminosas y por lo tanto su crecimiento, productividad y fijación de nitrógeno en el suelo (López & Camargo, 2014).

2. MATERIALES Y METODOS

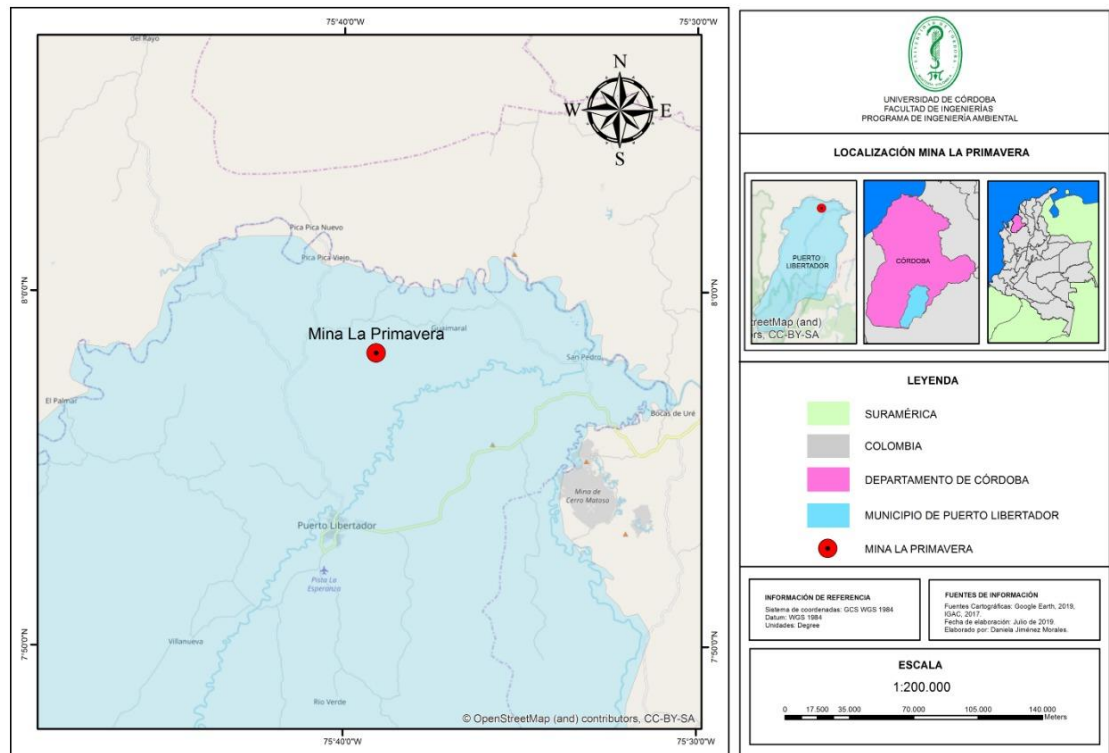
2.1 GENERALIDADES LUGAR DE ESTUDIO

Para este estudio se tomarán los estériles de carbón provenientes de la mina La Primavera, localizada en el municipio de Puerto Libertador-Córdoba (Ilustración, 1), la cual es explotada por el sistema de minería a cielo abierto.

El estudio se desarrolló en la vereda del Zapal del municipio de Cereté (Ilustración 2) con coordenadas de 8°93'21.70" N- 75°76'11.15" O y una elevación de 16 m, el estudio se desarrolló a escala piloto por lo que se adecuo un área en la cual se tuviesen las mismas condiciones para cada tratamiento, en dicho lugar se prepararon las diferentes mezclas entre el estéril y las enmiendas orgánicas (bovinaza y compostaje). El estéril utilizado provino de los patios de acopio de la mina La Primavera, dentro de la clasificación de estériles, este tipo de estéril corresponde a estéril de escombrera, los cuales son los resultantes de estériles de mina y lavadero. Las materas utilizadas contaron con una capacidad de 7 kg, el área ocupada por las 9 materas fue aproximadamente de 1 m². El tiempo de la fase experimental consto de 4 meses y medio en los cuales se evaluaron el crecimiento de la planta incorporada y la capacidad que tiene cada tratamiento en la formacion de suelos artificiales. En cuanto a las condiciones ambientales que se presentaron en el periodo de desarrollo del proyecto, este se desarrolló en epoca seca a

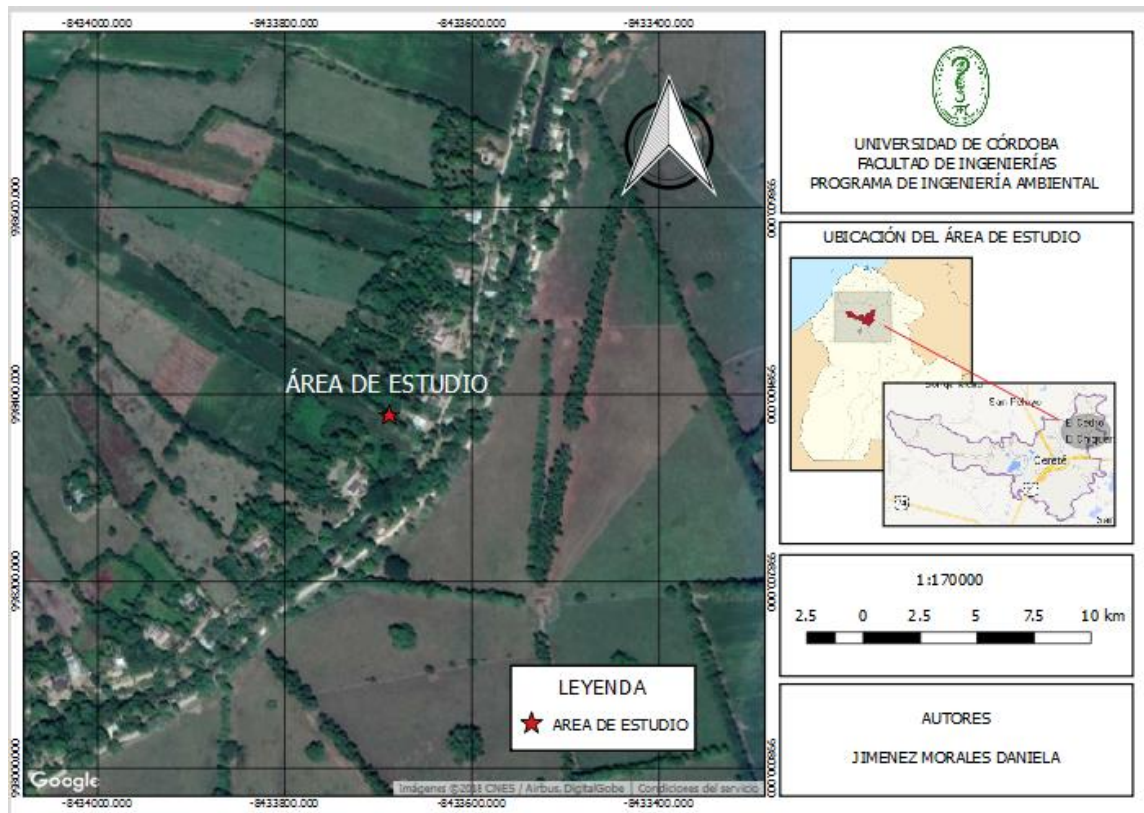
comienzos del mes de Diciembre del 2018, la cual de acuerdo a los datos proporcionados por la pagina web del IDEAM no se presentaron lluvias desde el mes de Junio, para el año 2019 las precipitaciones registradas empezaron el 10 de abril, mes en el que se finalizó el proyecto, por lo que para este mes se presentaron un total de 5 precipitaciones, encontrándose que la mayor fue de 17,3 correspondiendo al día 10 de abril y la menor fue de 0,3 que correspondió al día 14 de abril. En cuanto a las temperaturas tenemos que entre el mes de Diciembre y Abril la temperatura máxima fue de 38°C presentándose en el mes de Enero y la temperatura mínima fue de 20,5°C presentándose también para este mes. Para la toma de muestras, se tomaron muestras de cada tratamiento en 2 ciclos en un lapso total de 4 meses y medio y se llevaron al Laboratorio de suelos de la universidad de Córdoba para realizar su respectivo análisis y así poder observar los cambios que se generaron en cada tratamiento.

Ilustración 1. Localización mina La Primavera



Fuente: Herrera 2018

Ilustración 2. Localización desarrollo del proyecto



Fuente: Propia

2.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

2.2.1 Elaboración del compostaje

El compostaje se elaboró a partir de los desechos orgánicos que procedían de la alimentación de la familia en la vereda El Zapal del municipio de Cereté. La elaboración del compostaje se dio en un tiempo de 5 meses aproximadamente constando de desechos como: cascara de plátano, yuca, ñame, hojas secas, cascara de frutas, cascara de huevo, etc. A su vez al material extraído procedente de toda esta mezcla de desechos orgánicos se mezcló con ceniza procedente de la quema de leña que era usada para cocinar y bovinaza procedente de una de las fincas que se encuentran en la vereda. se obtuvo un

total de 20 kg de compost, donde las proporciones de mezcla fueron 70:30, que corresponden a las diferentes cascaras de los desechos y la ceniza y bovinaza recolectada.

Para la preparación de este compost, se formó una pila la cual consistió en una capa horizontal de cerca de 6 pulgadas de desperdicios orgánicos, seguida de 2 pulgadas de estiércol y por ultimo tierra. Estas capas se repitieron hasta que se alcanzó una altura de 50 cm. A la cuarta semana la pila se removió hacia otro lugar, después de 10 días de la primera revuelca de la pila original, se removió el material una segunda vez, removiendo la parte interior hacia el exterior, para el tiempo de las revuelcas del compost, se le agregó agua, para evitar sequedad del material, con el objetivo que el compuesto se encontrara con una constante humedad.

2.2.2 Recolección del material bovino

La recolección del material bovino se realizó en un potrero de la vereda El Cedro del municipio de Cereté. El material recolectado se encontraba totalmente seco no teniendo así la necesidad de secarlo previo a su uso.

2.2.3 Preparación de las plántulas

Las semillas de *Leucaena Leucocephala* se obtuvieron de la parcela de pastos y forrajes de la Universidad de Córdoba. Para la selección de esta planta se tuvo en cuenta sus características de adaptabilidad en diferentes suelos, como el aporte de nitrógeno que esta le da al suelo por ser una leguminosa. Las semillas se conservaron en un lugar fresco hasta la siembra. Para la siembra de la *Leucaena leucocephala* se estableció un semillero en eras teniendo en cuenta las características del suelo en el cual se debe incorporar una semilla, siendo este una mezcla de: arena, materia orgánica, suelo y bovinaza (Ilustración 3), para la incorporación de estos materiales no se usaron cantidades determinadas, estas fueron añadidas de forma que la mezcla contara con las características adecuadas, las cuales son la aireación y la posibilidad del paso de agua.

Ilustración 3. Establecimiento del semillero



Fuente: Propia

Posteriormente el terreno fue humedecido y se procedió a incorporar las semillas, la siembra de las semillas se estableció en hileras sembrando un total de 110 semillas, esto con la finalidad de contar con las suficientes plántulas a la hora de realizar el trasplante ya que podría presentarse la no germinación de algunas semillas (Ilustración 4). El semillero era regado todos los días en las horas de la mañana, para garantizar que las semillas contaran con suficiente humedad para su germinación.

Ilustración 4. Siembra de las semillas



Fuente: Propia

La germinación de las semillas fue rápida, a la tercera semana ya se tenían en su mayoría todas las plantas que habían sido sembradas (Ilustración 5). Esto era de esperarse pues dicha planta posee las características de una germinación rápida, presentando germinaciones entre el tercer o cuarto día después de incorporada la semilla.

Ilustración 5. Germinación de las semillas



Fuente: Propia

2.2.4 Recolección del estéril

Para la recolección del estéril, este se tomó del lugar de acopio de estériles, la altura de los cúmulos de estéril era de aproximadamente 2 metros, el material superficial fue removido con el fin de tomar el que se encontraba hacia el centro del cumulo a una distancia de aproximadamente 1 metro, esto con la finalidad de tomar un material que no se hubiese encontrado tan expuesto a las precipitaciones y el sol (Ilustración 6). Para el almacenamiento de dicho material, se usaron 5 sacos que contaban con una capacidad de 40kg cada uno, el transporte dentro de la mina hasta el centro de acopio de estériles fue proporcionado por lo operarios de la mina, quienes proporcionaron una camioneta y colaboraron a su vez con el almacenamiento del material dentro de los sacos, una vez finalizado el almacenamiento, se retornó a las oficinas de la mina, donde el material se trasladó a otra camioneta, la cual fue usada para el transporte del material desde Montería hasta Puerto Libertador. Las características físicas del material eran fragmentos gruesos de fáciles de cernir, como también poseía unas características de granulometría fina y gruesa.

Ilustración 6. Recolección del estéril de carbón



Fuente: Propia

Las muestras de material estéril se tomaron de 5 cúmulos diferentes dentro de una misma área para realizar posteriormente una mezcla de todas estas (Ilustración 7). Una vez obteniendo el material total a utilizar, se procedió a mezclar el material de los 5 sacos con el objetivo de obtener una sola mezcla homogénea de dicho material.

Ilustración 7. Puntos de recolección del estéril



Fuente: Propia

2.2.5 Mezcla del estéril con materiales orgánicos

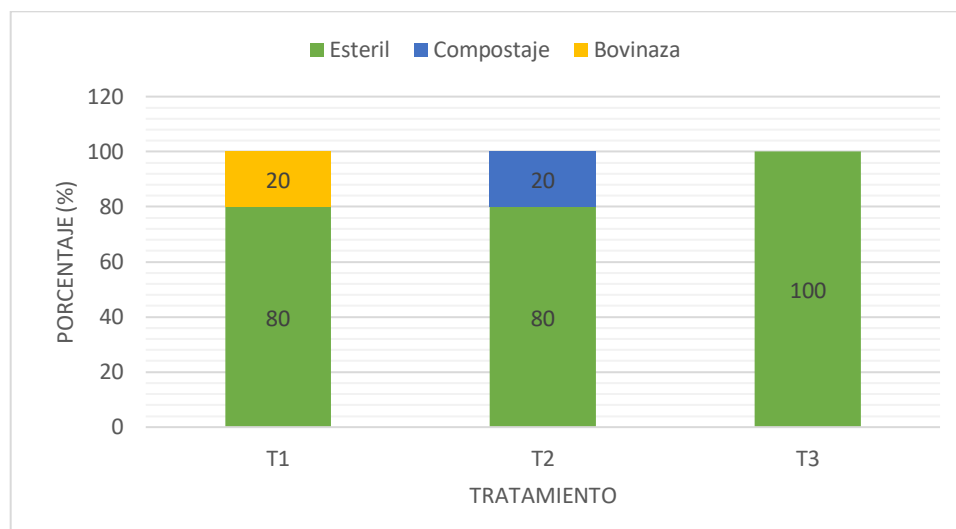
La mezcla del estéril con los materiales orgánicos se realizó en una concentración de 80:20 (gráfica 1). Para esto, se llamó T1 (Tratamiento 1) a la mezcla de estéril+bovinaza, T2 (Tratamiento 2) estéril+compostaje y T3 (Tratamiento 3) estéril de carbón 100%. Cada maceta contó con un total de 7kg de material compuesto (Ilustración 8). En total se obtuvieron un número de 9 macetas, donde cada tratamiento consto con sus 3 repeticiones las cuales se indican en el método estadístico, esto con el fin de realizar el análisis estadístico descrito más adelante.

Ilustración 8. Mezclas del estéril con las enmiendas orgánicas



Fuente: Propia

Gráfica 1. Composición de los tratamientos, mezclados homogéneamente en una proporción 80:20



Fuente: Propia

2.2.6 Incorporación de la planta

La incorporación de la planta se realizó a través de trasplante (Ilustración 9), para esto se trató de tomar las plantas que contaran con un tamaño promedio de 14 cm para incorporarlas así en cada maceta, incorporando así un total de 3 plantas por maceta, esto se hizo con la finalidad de contar con otra planta dado el caso que el resto no se adaptaran al suelo creado.

Ilustración 9. Incorporación de las plantas en los tratamientos



Fuente: Propia

2.2.7 Seguimiento y cuidado

El vivero que se diseñó para la ubicación de las diferentes mezclas era regado dos veces al día (mañana a las 8:00 a.m. y tarde 6:00 p.m.). Posterior al día del trasplante de las plantas se procedió a medir el alto, ancho y número de hojas de las diferentes plantas (Ilustración 10), con el fin de conocer el estado inicial de las plantas.

Ilustración 10. Medida de las variables de las plantas



Fuente: Propia

2.2.8 Observación suelo y plantas

Posterior a la incorporación de la planta, como se describió anteriormente el suelo era regado en la mañana y en la tarde hasta que la planta lograra ajustarse a las nuevas condiciones de suelo, pasado 3 semanas el riego solo se realizó en las mañanas a las 8:00 a.m. El agua usada para el riego de las plantas es la misma que es suministrada por el acueducto. Se pudo observar que las plantas presentaron perdidas de hojas en el transcurso del primer mes de montado el experimento, las pérdidas de estas hojas se evidenciaron en todos los tratamientos.

2.2.9 Toma de muestras

La toma de muestras consto de 2 ciclos en un lapso de cuatro meses y medio, el primer ciclo es el primer mes y medio de establecido el experimento y el segundo ciclo son los tres meses restantes para la toma de las segundas muestras de suelo de cada tratamiento y sus respectivas repeticiones, se tomó 1 kilo de muestra de suelo y se llevaron al laboratorio de suelos y aguas para un posterior análisis químico, donde se analizaron los elementos mayores y menores (pH, %MO, S, P, Ca, Mg, K, Na, Al, CICE). De igual forma, en esos 2 ciclos se tomaron medidas de las variables de las plantas (longitud del tallo, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar y masa seca).

2.2.10 Medidas de las variables de crecimiento de la planta

2.2.10.1 Crecimiento de la planta

Para la medición del crecimiento de la planta, se procedió a tomar un metro y medir la longitud de cada planta por tratamiento y las de sus respectivas repeticiones. De esta forma se obtuvieron los respectivos datos (Anexo 28) para establecer las diferencias entre los tratamientos y establecer los tratamientos que obtuvieron una mejor influencia en el crecimiento de las plantas.

2.2.10.2 Diámetro del tallo de la planta

Para las observaciones y medidas del diámetro del tallo de cada planta se procedió a usar un instrumento de medida llamado vernier, el cual permitió conocer el ancho de cada tallo de una manera más precisa, estos datos fueron obtenidos en mm y se convirtieron a cm. Esta medida fue tomada a 5 cm de la base del suelo.

2.2.10.3 Número de hojas

Para la estimación del número de hojas, se procedió a contar las hojas de cada planta por tratamiento y sus respectivas repeticiones, en la fase inicial de incorporados los tratamientos y los 2 ciclos de muestreo, de esta forma se obtuvieron 3 datos de la variable del número de hojas, los cuales permiten establecer las diferencias entre los efectos de cada tratamiento en dicha variable (Anexo 28).

2.2.10.4 Área foliar

El área foliar de una planta, es la cantidad de superficie de hoja que posee una planta, este parámetro es de gran importancia en cuanto a fisiología vegetal ya que permite realizar una estimación del crecimiento celular de planta, la cual sirve como base de comparación con otras plantas. Para la estimación del área foliar se hizo uso de una ecuación propuesta por (Lima et al., 2007) en su trabajo titulado “ecuaciones para la estimación del área foliar en algunas especies adaptadas al ambiente semiárido brasileño”, para el desarrollo de la ecuación era necesario conocer el largo y ancho de las hojas, para la estimación de estas medidas se usó el calibrador vernier, con el objetivo de tener medidas más exactas para el cálculo del área foliar. La ecuación utilizada fue: $y = a + bx$ donde $X = L * W$, $y = A$ y por último a y b que son los coeficientes de variación de cada especie, para el caso de la *Leucaena Leucocephala* los valores de los coeficientes son los siguientes: $a = 34,88$ y $b = 0,15$, cabe resaltar que esta ecuación es propuesta para el cálculo del área foliar de la planta usada en este estudio denominada *Leucaena Leucocephala*. Para determinar el área foliar se tomaron 30 hojas de cada planta, 10 hojas del tercio bajo, 10 del tercio medio y 10 del tercio superior, los cuales se refieren a las partes de las ramas de las plantas que son divididas en 3 tercios, a cada una de estas hojas se les midió largo y ancho, se estimó

el área foliar para las 30 hojas medidas y a través de una regla de 3 simple se estimó el área foliar total de la planta, la cual es el área obtenida a través de la totalidad del número de hojas que cada planta presentó. De este modo se halló el área foliar por planta de cada tratamiento y su respectiva repetición.

2.2.10.5 Masa seca

La masa seca, es la fracción total de la biomasa que es distribuida en la planta, a través de sus hojas, tallos y raíces. Para la estimación de la masa seca se tomaron las raíces (Ilustración 11) y la parte aérea que consta de tallo y hojas (Ilustración 12) de cada repetición por tratamiento. A estas repeticiones después de haber medido la longitud del tallo, el ancho y número de hojas de sus respectivas plantas, se procedió a cortar la parte aérea, es decir el tallo y sus hojas para luego guardarlas en una bolsa de papel donde se almacenaron para secarlas a una temperatura de 60° por 1 día (24 hrs) en el horno del laboratorio de suelos y agua de la Universidad de Córdoba, de igual forma se procedió para el secado de la raíz de las plantas, obteniendo de esta forma un total de 18 bolsas de papel denominado papel de azúcar por almacenar en el horno (Ilustración 13), siendo 9 que contenían tallo-hojas y 9 con las raíces. Para la toma del material subterráneo se procedió de manera que las raíces no fueran alteradas, es decir no se partieran al momento de sacarlas; para esto se humedeció el material con un poco de agua, después se empezó a remover el material dentro de la maceta con la finalidad de facilitar la salida de la raíz y de manera cuidadosa esta fue sacándose poco a poco.

Ilustración 11. Corte de raíz masa seca.



Fuente: Propia

Ilustración 12. Material aéreo para estimación de masa seca.



Fuente: propia

De acuerdo a la literatura consultada la temperatura recomendada para el secado de las plantas era de 60° por 24 horas, cumplido el día de secado se sacaron las bolsas para verificar si el material aéreo y las raíces se encontraban secas, lo que mostro que tanto las raíces como el material aéreo no se encontraban totalmente secas por lo que se volvieron a almacenar en el horno por otras 24 horas, pero esta vez a una temperatura de 72° recomendada por el operario del laboratorio, esto con el objetivo de que el material se encontrara totalmente seco en el tiempo estipulado.

Ilustración 13. Secado en horno



Fuente: propia

Después de las 48 horas de secado de los dos materiales en el horno, se procedió a pesarlos en una balanza del laboratorio de suelos y agua de la Universidad (Ilustración 14), el material fue pesado al principio con la bolsa donde se encontraba contenido, después se pesó solo la bolsa y a través de la diferencia entre el peso de material + la bolsa y la bolsa se obtuvo el valor de masa seca aérea y masa seca de la raíz.

Ilustración 14. Peso de masa seca.



Fuente: Propia

2.2.11 Análisis de Laboratorio

Los análisis químicos de los diferentes tratamientos fueron elaborados en la Universidad de Córdoba en el laboratorio de suelo y agua. Los análisis constaron de elementos mayores y menores (pH, %MO, S, P, Ca, Mg, K, Na, Al, CICE), analizando de esta forma cada tratamiento con su respectiva repetición por lo que se obtuvieron un total de 18 análisis, nueve del primer ciclo de muestreo (Anexo 1) y nueve del segundo ciclo (Anexo 2). Dentro de estos análisis los parámetros que se tuvieron en cuenta para la elaboración de los resultados y discusión fueron pH, C.O, S, P, CICE y % de saturación de cationes.

2.2.12 Análisis estadístico

Para generar una comparación entre los tratamientos, se llevó a cabo un diseño experimental completamente al azar a través de un análisis de varianza (ANOVA). A través de este diseño se buscaba establecer diferencias entre los 3 tratamientos haciendo uso de la estadística para evaluar si entre estos tratamientos existen diferencias significativas y como fue el comportamiento de las variables de las plantas que fueron alto, ancho, número de hojas, área foliar y masa seca; y en el suelo sus características

químicas como pH, C.O, S, P, CIC_E % de saturación de cationes, para esto cada tratamiento debía contar con 3 repeticiones del mismo, lo que da como total 3 macetas con T1, 3 con T2 y 3 con T3 respectivamente, obteniendo un total de 9 macetas. después de realizado el ANOVA, si este rechazaba la hipótesis de igualdad entre los tratamientos, se realizó una prueba de comparación múltiple (Test de Tukey), para determinar el mejor tratamiento a un nivel de significancia del 5%. El análisis de varianza se realizó con el software Statistix 10 trial y las comparaciones múltiples se obtuvieron mediante el uso del software IBM-SPSS STATISTICS 19.

Para la comparación de los 3 tratamientos se busca dar respuesta de si existen diferencias significativas entre los tratamientos y las variables de las plantas y el suelo, esta respuesta es el resultado del contraste de la siguiente hipótesis: $H_0 = T_1 = T_2 = T_3$ y $H_A = T_1 \neq T_2 \neq T_3$.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Crecimiento *Leucaena leucocephala*

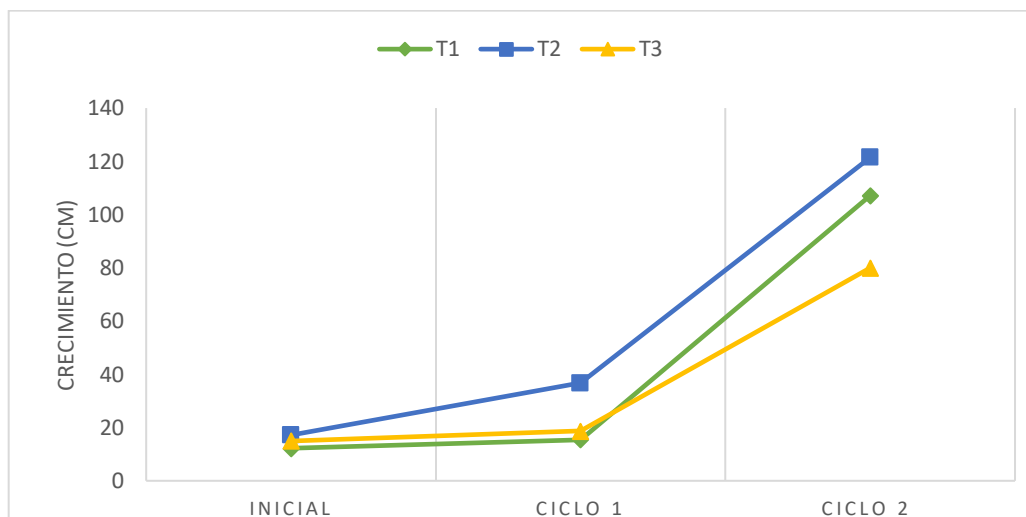
A través de las observaciones y medidas tomadas (Anexo 28), se evidenció el crecimiento de las plantas en los diferentes tratamientos, en base a esto se tiene como resultado que el tratamiento 2 compuesto por estéril+compostaje fue el que obtuvo un mayor crecimiento de las plantas entre los tres tratamientos. Para la elaboración de la gráfica 2 se tomaron los promedios de las repeticiones por tratamiento, obteniendo de esta manera 3 promedios por tratamiento en 3 diferentes tiempos, siendo el tiempo inicial la medida al segundo día del trasplante de la *Leucaena* en los tratamientos, el ciclo 1 el primer mes y medio de muestreo y el ciclo 2 los 3 meses restantes para completar los 4 meses y medio del experimento. Se hace evidente el crecimiento de las plantas de cada tratamiento a lo largo del tiempo de desarrollo del experimento, sin embargo, se debe tener en cuenta que los tratamientos que presentaron un mayor crecimiento de las plantas fueron T2 con 121.43 m y T1 con 107.13 m, como consecuencia de la incorporación de materia orgánica al material estéril, siendo T2 una mezcla de estéril+compostaje a una concentración de 80:20 y T1 una mezcla de estéril+bovinaza a una concentración de 80:20, se debe resaltar que T1 obtuvo también un crecimiento considerable pero no tan alto como los demás, siendo que esta planta en condiciones normales presenta alturas entre los 3 y 6 m (hasta 12 m).

De acuerdo a los resultados, los tratamientos que obtuvieron un mayor crecimiento de la vegetación durante el desarrollo del proyecto fueron T1 y T2 (gráfica 3), con una altura promedio de 114.28 cm entre estos, este crecimiento puede interpretarse como el resultado de la incorporación de materia orgánica ya que esta contiene elementos como el fósforo, magnesio, azufre y micronutrientes, los cuales son esenciales para las plantas (Graetz,1997). En un trabajo desarrollado por el investigador (Lungu, 1993) trabajó con estiércol de granja solo y este a su vez mezclado con limo para evaluar el efecto de estas mezclas en el crecimiento de la vegetación (maíz), donde logro observar que el crecimiento vegetal incrementaba significativamente con estiércol solo o mezclado con limo. En cuanto al compost, se encontró que (Keeling, 1994) aplicó compost derivado de basuras domésticas sobre ryegrass, encontrando que este tuvo propiedades que estimularon el crecimiento de la planta. Este resultado era de esperarse de la bovinaza y del compostaje, por sus características químicas y biológicas, ya que le aportan un mayor contenido nutrimental al suelo. De acuerdo con (Rozo, 2007) los resultados en los tratamientos con enmiendas orgánicas, difieren con relación al control (sin aplicación de enmiendas). Cabe resaltar que las enmiendas orgánicas tienen mayor incidencia sobre el desarrollo de la vegetación ya que sus características físicas y químicas, pueden proporcionarle al medio condiciones que permitan generar un crecimiento en la vegetación.

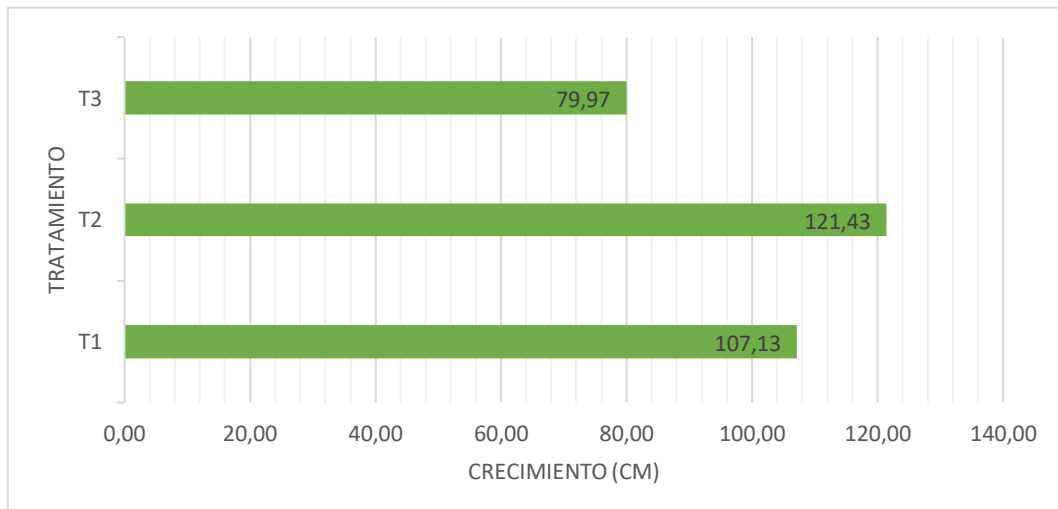
En cuanto al análisis estadístico se realizó un análisis de varianza para verificar si existían diferencias significativas entre los tratamientos. Con el ANOVA (Anexo 3), se evidencio que no existen diferencias significativas entre los tratamientos para la variable de crecimiento de la planta (longitud del tallo), presentando un nivel de significancia de

0.0938 lo que rechaza la hipótesis de diferencias entre los diferentes tratamientos. A diferencia de este resultado (Jiménez, 2015) encontró diferencias significativas en el crecimiento del pasto en estéril, donde 4 tratamientos con diferentes mezclas obtuvieron los mejores resultados, siendo estos T2 (70:30) estéril y estiércol, T3 (80:20) estéril y estiércol, T4 (100%) estéril y T7 (70:30:20) estéril, estiércol y micorrizas.

Gráfica 2. Crecimiento de las plantas bajo la influencia del estéril de carbón en 3 tratamientos, T1 (estéril+bovinaza), T2 (estéril+compost) y T3 (100% estéril).



Gráfica 3. Crecimiento de las plantas en el último ciclo de muestreo de los 3 tratamientos de estéril de carbón, T1(estéril+bovinaza), T2 (estéril+compost) y T3(100% estéril)



3.2 Diámetro del tallo de las plantas

Los datos obtenidos a través de las diferentes medidas fueron promediados del mismo modo como longitud del tallo de la planta, en la gráfica 4 puede apreciarse la evolución del grosor del tallo, siendo T2 el tratamiento que tiene mayor influencia en el grosor del tallo, seguido de T1 y T3 respectivamente. Puede apreciarse en la gráfica 5 que el tratamiento que mayor grosor de tallo obtuvo a lo largo del experimento fue T2, cabe resaltar que este tratamiento consistió en mezclas de estéril+compostaje.

De acuerdo a (Matiz et al., 2009), los abonos orgánicos son conocidos por los excelentes resultados que estos aportan a la vegetación, ya que estos aparte de tener un gran valor nutrimental, modifican y mejoran las propiedades físicas de los suelos, contribuyendo de esta forma en el desarrollo de las plantas, sumado a esto por su naturaleza de ser abonos orgánicos obtenidos por descomposición de residuos orgánicos los cuales desprenden calor en presencia de oxígeno cuya acción es realizada por los microorganismos que existen en los materiales utilizados, se caracterizan por aportar materia orgánica inherente a ellos como también microorganismos. Para el trabajo elaborado por estos autores se midieron variables como alto, grosor del tallo, número de hojas y por ultimo peso seco y fresco. Teniendo en cuenta nuestra variable de interés que es diámetro del tallo, ellos a través de un análisis de regresión cuadrática para las plantas no obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos, dentro de los cuales se encontraban compost, gallinaza, lombricompuesto, etc, pero sí lograron establecer cuál fue el mejor tratamiento, siendo este el compuesto por residuos vegetales, en contraste con nuestro estudio se establecen diferencias significativas entre los tratamientos obteniendo que el tratamiento que posee mayor influencia en el grosor del tallo es T2 y T1, siendo T2 más significativo

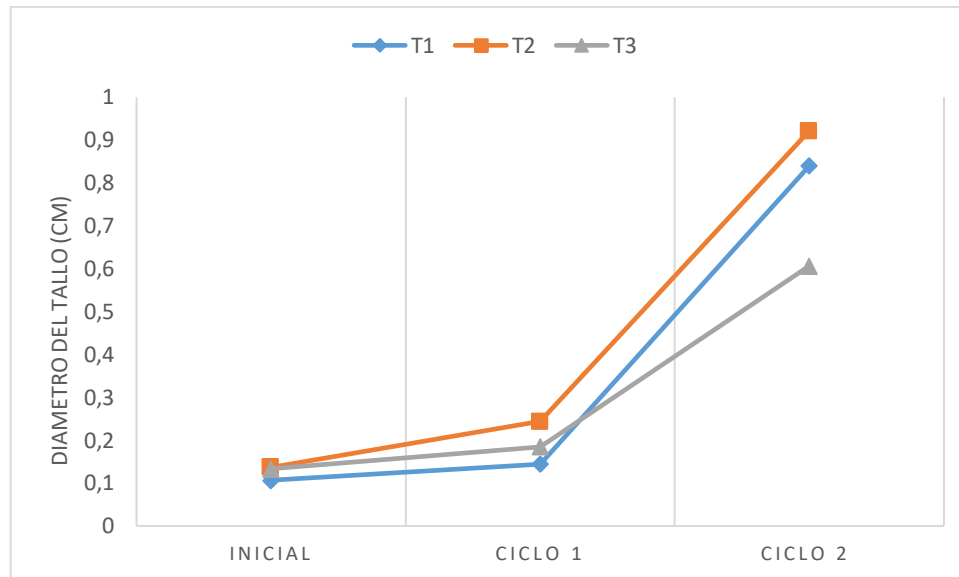
y esto puede explicarse a través de la integración del abono que fue usado para este tratamiento, el cual fue un compostaje obtenido a través de diferentes desechos orgánicos como residuos de alimentos, etc, los cuales a través de su descomposición proporcionan una gran cantidad de nutrientes y microorganismos que favorecen el desarrollo de las plantas, evidenciándose en el grosor del tallo de las planta, de igual forma se puede explicar para T1 cuya mezcla se basa en bovinaza+compostaje, aportándole este abono un mecanismo para elevar la actividad biológica de los suelos ya que este aporta una considerable cantidad de enzimas, vitaminas y hormonas, este es un subproducto agrícola de gran importancia para el suelo por su aporte al suelo de nitrógeno, fósforo, potasio y elementos rápidamente disponibles para las plantas (Lafaux el al., 2013).

Para el diámetro del tallo de la planta, el ANOVA (Anexo 4) nos arroja un nivel de significancia de 0.007, siendo este valor menor a 0.05 lo que nos indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos, de esta forma se rechaza la hipótesis H_0 , que nos dice que es posible encontrar igualdades en los tres tratamientos. Para evaluar las diferencias entre estos tratamientos, se procedió a utilizar el método de comparaciones múltiple Tukey, permitiéndonos este test identificar el mejor tratamiento en el comportamiento de la variable.

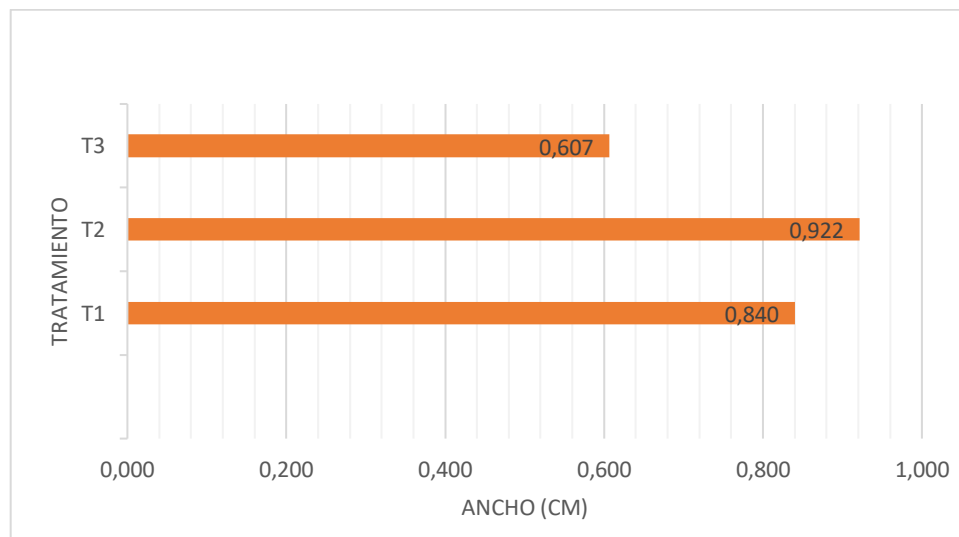
En los Anexos 5 y 6 se evidencia el comportamiento de la variable para cada uno de los tratamientos de acuerdo a los subconjuntos y las pruebas múltiples definidas por la prueba de Tukey, con base a las 2 pruebas de Tukey, estas coinciden en que los tratamientos que generaron un mayor grosor en el tallo de la planta fueron T1 y T2 presentando los valores más altos en el grosor del tallo, T2 presenta el valor más considerable de los 3 tratamientos indicándonos que el T2 es más favorable para la variable analizada. En cuanto a T3, este

presenta un valor inferior en comparación con los demás tratamientos, presentando un valor de significancia alto, en contraste con T2 que tiene una significancia mucho menor.

Gráfica 4. Diámetro del tallo de las plantas bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos, T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril)



Gráfica 5. Diámetro del tallo en el último ciclo de muestreo de los 3 tratamientos de estériles de carbón. T1(esteril+bovinaza), T2(esteril+compost) y T3(100% esteril)



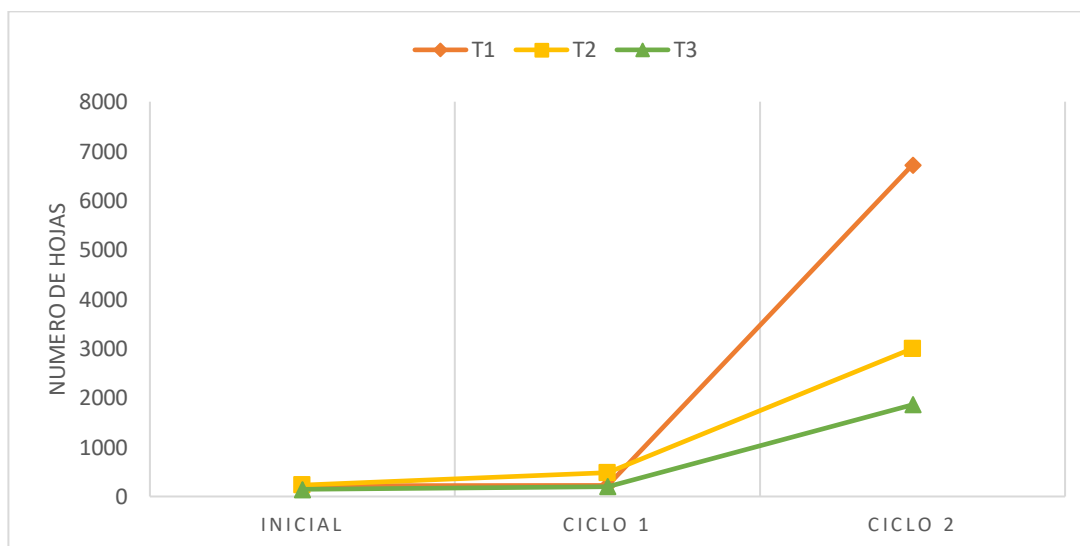
3.3 Número de hojas

El comportamiento del número de hojas puede evidenciarse en las tres etapas de muestreo en la gráfica 6. Es notable apreciar que desde la etapa inicial del desarrollo del experimento la variable del número de hojas fue diferente para cada tratamiento, presentando T2 el mayor número de hojas desde la fase inicial, comportamiento que continuo hasta el primer ciclo de muestreo. Para el último ciclo se obtuvo una diferencia significativa, presentando el tratamiento 1 el mayor número de hojas (gráfica 7). El tratamiento 3 a pesar de mostrar incrementos en la variable del número de hojas, estas diferencias no fueron significativas en relación con los demás tratamientos.

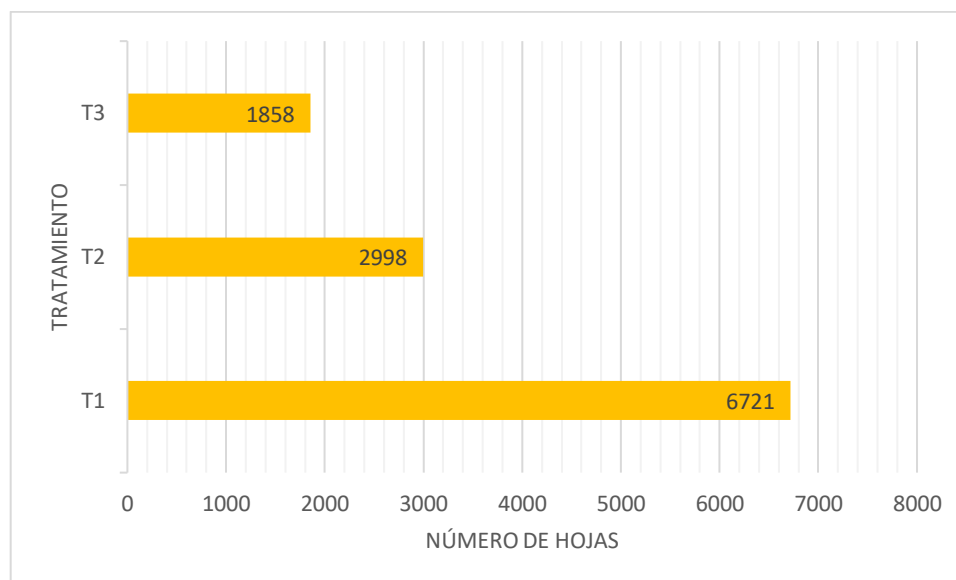
Para la variable número de hojas se realizó el mismo procedimiento aplicado a las anteriores variables analizadas, de acuerdo al análisis de varianza (Anexo 7) es posible descartar la hipótesis H_0 , por lo que se procede a realizar un análisis de comparaciones múltiples con ayuda del test de Tukey. De acuerdo a las comparaciones múltiples establecidas por Tukey (Anexo 8) y los subconjuntos (Anexo 9), pueden evidenciarse diferencias significativas entre los 3 tratamientos. De esta forma entre los tratamientos no se presentan similitudes, teniendo así cada tratamiento un efecto diferente en la variable. T1 es el tratamiento que presenta el valor más alto para el número de hojas siendo este tratamiento el mejor para dicha variable, seguido de T2 y T3 que presentan un valor más bajo en comparación con T1. Estos resultados pueden compararse con (Matiz et al., 2009), donde ellos encontraron diferencias significativas entre el número de hojas de los diferentes tratamientos aplicados, presentando mejores resultados los residuos vegetales seguido del compost. Ahora, el crecimiento y desarrollo de los diferentes órganos de las plantas (hojas) es un proceso fisiológico complejo que esta ligado con la fotosíntesis, la

respiración, la elongación, etc. además se encuentra influenciada por factores externos como temperatura, intensidad de luz, disponibilidad de agua y nutrientes (Barrera et al., 2010), el estado nutricional del suelo juega un papel importante para el desarrollo de las plantas, pues sin la disponibilidad de los nutrientes necesarios el crecimiento y productividad de las plantas se vería afectado (Birchler et al., 1998). Esto se hace evidente en la variable de número de hojas, donde los tratamientos que contaban con enmiendas orgánicas, obtuvieron un mayor número de hojas a lo largo de su crecimiento y desarrollo. Es necesario resaltar que el nitrógeno es también un factor importante en el crecimiento de las plantas y su eficiencia fotosintética, el cual bajo condiciones de déficit tiende a disminuir el peso seco, número de hojas y el área foliar (Sanclemente & Peña, 2008), al ser la *leucaena* una leguminosa, posee la característica de ser una planta fijadora de nitrógeno para el suelo, lo que favorece la química del suelo y su mismo crecimiento y desarrollo.

Gráfica 6. Número de hojas de las plantas bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril)



Gráfica 7. Número de hojas de las plantas de los 3 tratamientos de estériles en el último ciclo de muestreo T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril)



3.4 Área foliar (cm²).

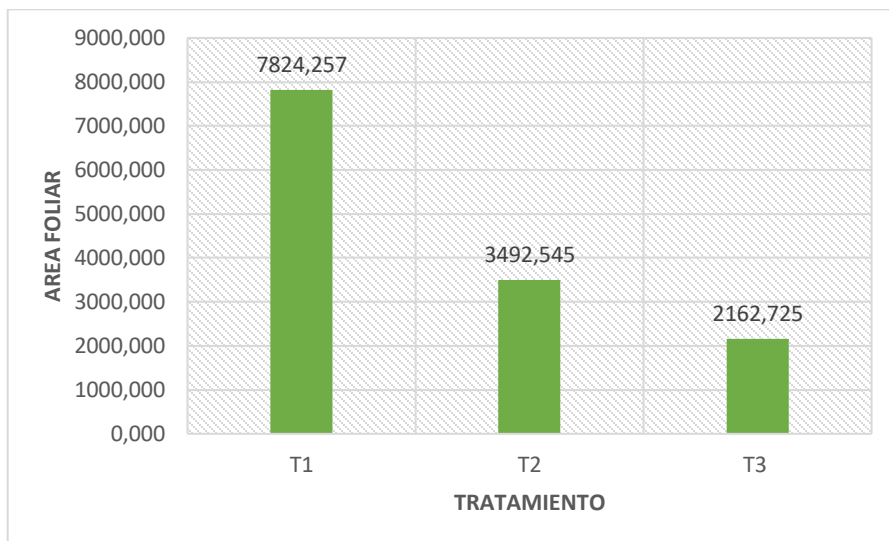
Se promediaron las repeticiones de cada tratamiento con el objetivo de ver cual tratamiento presentó un área foliar mayor, así se hace notable que el tratamiento que mayor área foliar presentó fue el T1 seguido del T2 y por último el T3 (gráfica 8). Estos resultados eran de esperar para T3 ya que este tratamiento no consto con la incorporación de enmiendas orgánicas, por lo que en relación a los demás tratamientos su contenido nutrimental es deficiente.

Para la variable de área foliar, el ANOVA (Anexo 10) nos muestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos, descartando así la hipótesis que nos dice que pueden presentarse igualdades entre los tratamientos. Como tenemos diferencias significativas

entre al menos un tratamiento se aplicó el test de Tukey (Anexo 11 y 12) para conocer el mejor de los 3 tratamientos.

Nuevamente, el análisis de subconjuntos para área foliar (Anexo 12) muestra diferencias significativas entre los 3 tratamientos para la variable área foliar, teniendo T1 el valor más significativo, seguido de T2 y por último T3. En base a los valores expresados en los subconjuntos, T1 es el tratamiento que proporciona mejores resultados para la variable analizada, siendo este tratamiento el mejor entre los 3. Estos resultados eran de esperarse ya que el área foliar de una planta está determinada por el número de hojas de la planta, pues en base a estas es definida la capacidad de la cubierta vegetal que tiene la planta para interceptar radiación fotosintética activa (Tsuji, 1994). Al presentar T1 el mayor número de hojas es de esperarse que este tratamiento presente a su vez la mayor área foliar. El crecimiento de las plantas se refiere a un incremento que es irreversible de materia seca, cambios en el tamaño, masa forma y número, los cuales se encuentran en función del genotipo de la planta y el complejo ambiental, lo que dará como resultado un resultado cuantitativo del tamaño de la planta (Kru, 1997), además de incluir procesos antes dichos como fotosíntesis, síntesis de otros compuestos, respiración, absorción, transpiración etc. En base a esto es posible afirmar que gracias al aporte nutrimental hecho por la bovinaza a T1 es posible evidenciar un buen desarrollo en esta característica de la planta, la cual como ya se había mencionado anteriormente se encuentra relacionada con su número de hojas.

Gráfica 8. Área foliar de las plantas bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril)



3.5 Masa seca

De acuerdo a los resultados obtenidos, los tratamientos que mayor peso de masa seca aérea presentaron fueron T2 y T1 respectivamente, obteniendo T2 un peso de 21.77 g, T1 un peso de 19.823 y T3 5.16 (gráfica 9). Para la raíz T2 obtuvo el mayor peso, siendo este de 5.72 g, seguido de 5.303 correspondiendo a T1 y 1.916 a T3 (gráfica 10).

Como el nivel de significancia es inferior a 0,05 de acuerdo al ANOVA (Anexo 13 y 16) se descarta la hipótesis que nos dice que existen igualdades entre los 3 tratamientos. De esta forma se procede a realizar el test de Tukey para establecer los tratamientos con los mejores resultados, esta diferencia significativa nos da a entender que existen diferencias entre al menos 1 tratamiento.

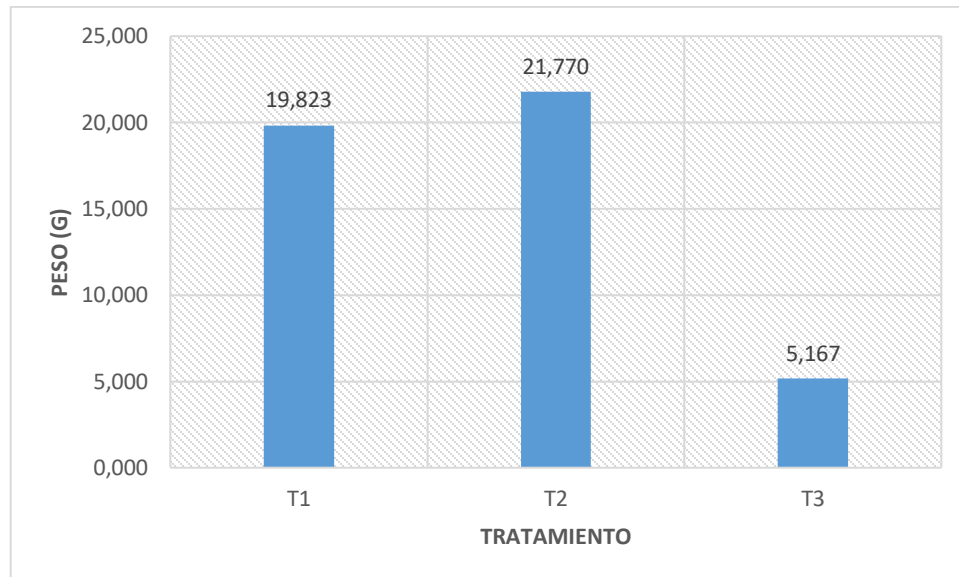
De acuerdo el test de Tukey aplicado para la variable masa seca aérea (Anexo 14 y 15) y masa seca raíz (Anexo 17 y 18), se muestran diferencias significativas entre los tratamientos, más específicamente entre T3 contra T2 y T1 quienes obtuvieron los valores

más altos entre los tratamientos y no presentaron diferencias significativas, de esta forma T3 presenta el valor más bajo entre los tratamientos, siendo este tratamiento descartado como el mejor para nuestras variables. Se hace necesario resaltar que entre T2 y T1 el tratamiento que mayor resultado obtuvo fue T2 con un valor 5.7200 para raíz y 21.7700 para superficie, aunque de acuerdo al test de Tukey las diferencias entre T1 y T2 no son tan significativas como lo son para T3. Estas comparaciones pueden contrastarse con (Jimenez, 2015), quien también encontró dentro de sus 9 tratamientos 4 que presentaron mayor rendimiento, encontrándose dentro de estos una mezcla de estéril y estiércol con proporción (80:20), estéril, estiércol y micorrizas con (80:10:10) de proporción, estéril, estiércol y micorrizas con (50:30:20) y 100% estéril. A su vez (Weiler, 2011), encontró también una gran influencia de la mezcla entre estériles, lodos de depuradora, escoria de acero y cascaras de arroz, en la masa seca, donde los tejidos aéreos obtuvieron mayor peso que los radiculares, siendo estos valores de 14.5g y 6.3g respectivamente.

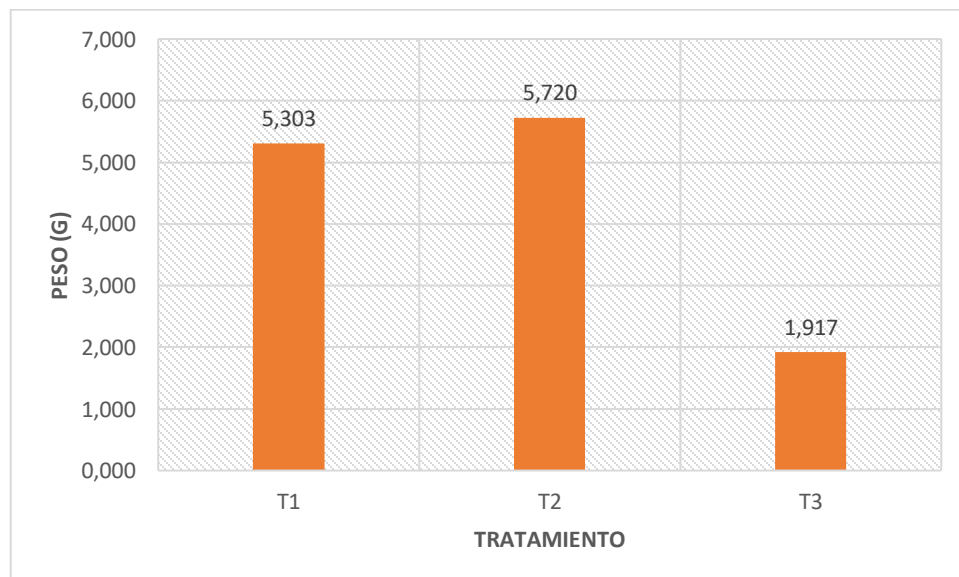
El crecimiento de la planta a través de la acumulación de la materia o masa seca, depende del tamaño del área foliar, la tasa a la cual funcionan las hojas y el tiempo que el follaje persiste (Tekalign & Hammes, 2005). La producción de masa seca es el resultado del follaje del cultivo y la utilización de la radiación solar disponible durante el ciclo de crecimiento (Castellanos et al., 2010). Esta producción también se encuentra ligada por la cantidad de radiación solar, la habilidad de las hojas para fotosintetizar, la arquitectura de la planta, la respiración, los factores internos de crecimiento como el genotipo y factores relacionados con el ambiente y el manejo durante el ciclo de crecimiento (Gardner et al., 1985). Cabe resaltar también, que la producción de masa seca está relacionada con el área

foliar, por lo que, si esta es alta, se espera una alta acumulación de masa seca (Gómez et al., 1999).

Gráfica 9. Masa seca aérea bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril)



Gráfica 10. Masa seca raíz bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril)



3.6 Análisis químicos de laboratorio

Para la elaboración de las siguientes gráficas, se realizó el mismo procedimiento usado para la elaboración de las gráficas de las variables de crecimiento de la *Leucaena Leucocephala*, tomando de esta forma un promedio de las tres repeticiones de cada tratamiento, obteniendo así dos promedios, uno perteneciente al primer ciclo de muestreo y otro al segundo.

3.6.1 Potencial de acidez (pH) de los 3 tratamientos bajo la influencia de estériles de carbón

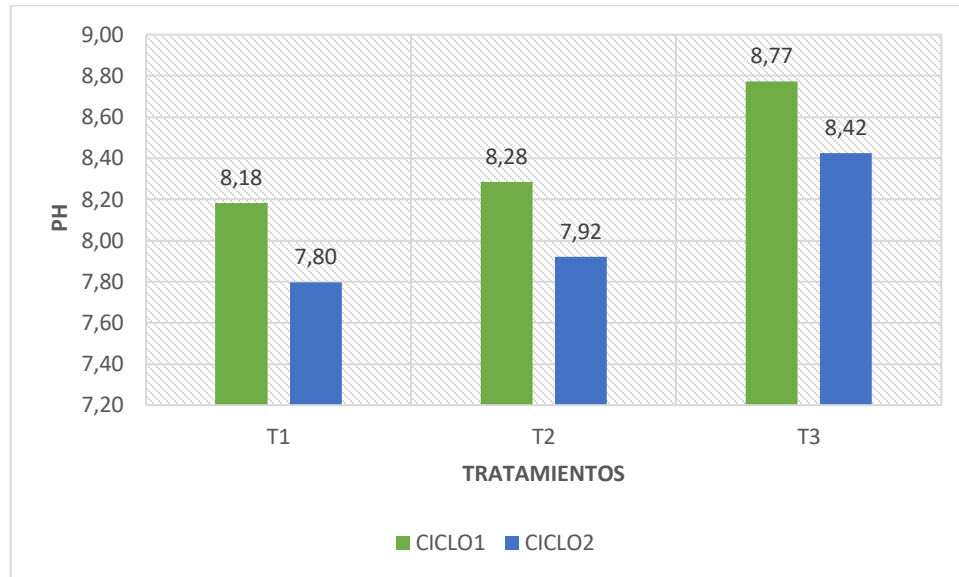
Para la variable pH, encontramos que en el primer ciclo de muestreo no hay un amplio rango de diferencias entre esta variable dentro de los tratamientos (gráfica 11), encontrándose valores cercanos entre estos, como lo es T1 con un pH de 8.18; T2 8.28 y T3 8.77, siendo todos estos valores alcalinos de acuerdo a las clasificaciones de dicha variable. De acuerdo al segundo ciclo de muestreo, se ve una disminución del pH en todos los tratamientos, encontrándose estos valores en un rango de 7.79 y 8.42.

Para pH, encontramos que al inicio de la fase experimental presentaba valores de alcalinidad, con el tiempo este pH presentó una disminución en la última fase experimental, encontrándose en rangos ligeramente alcalinos, estos resultados fueron encontrados también por (Orozco et al., 2011), quien incorporo compost y lombricompost en el suelo para generar rendimientos en las propiedades químicas del suelo, atribuyendo los altos valores de este pH al contenido de cationes, los cuales provocan una reducción de la acidez. De acuerdo a (Ibañez, 2007), se hace indispensable destacar que la acidez-basicidad-alcalinidad de un suelo, determina la biodisponibilidad de los nutrientes para

las plantas, encontrando que los nutrientes cambian su capacidad de ser absorbidos en función del pH. Con base a los análisis de laboratorio se hace posible evidenciar una variación de pH de alcalino a ligeramente alcalino. (Daniels & Zipper, 1997), afirman que el pH puede cambiar rápidamente cuando los fragmentos rocosos se alteran y oxidan, pudiendo el pH pasar de valores altos a valores bajos. (Arranz et al., 2011) dice que el valor de pH al que puede llegarse por alteración de los minerales presentes en los estériles pueden tener mucha importancia donde la minería supone una modificación radical del mismo con respecto al de los suelos originales, Arranz también dice que la medida de pH por sí sola no proporciona demasiados criterios para elaborar propuestas de mejora, siendo útil la evaluación de la acidez potencial. Ahora, la ficha técnica de los estériles de carbón (2011) dice que los estériles suelen ser neutros o ligeramente alcalinos, pero en contacto con agua y en presencia de piritas puede dar lugar a lixiviados ácidos, no obstante, estos pueden ser neutralizados por reacción con elementos alcalinos presentes en los estériles.

En cuanto al análisis estadístico, el ANOVA (Anexo 19), no arrojó diferencias significativas entre los tratamientos. Una explicación para esto, es que para notar cambios significativos en la química del suelo se requieren de años de proceso químicos y físicos los cuales generen una modificación en este.

Gráfica 11. Variable PH bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril)



3.6.2 Carbono orgánico (C.O) de los 3 tratamientos bajo la influencia de estériles de carbón

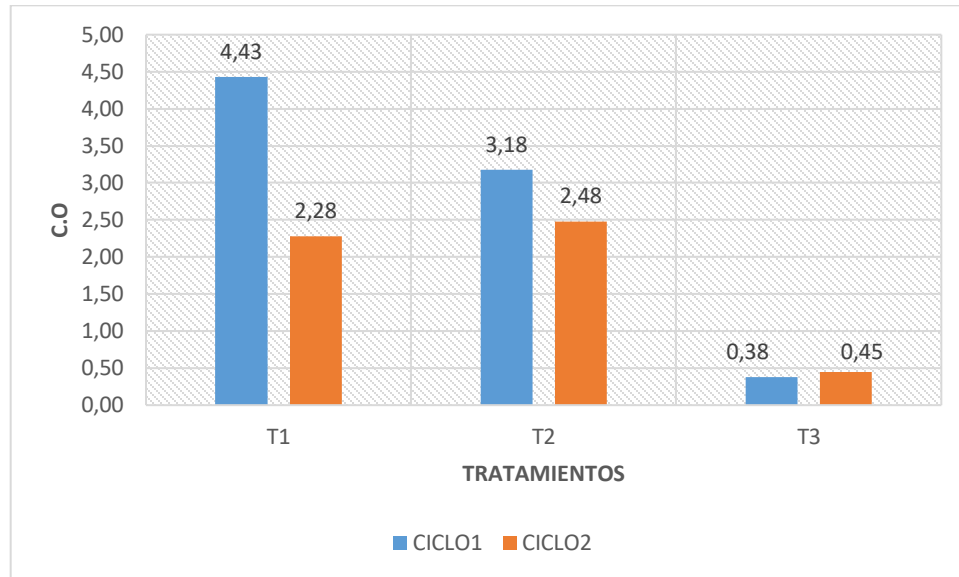
Para C.O es posible observar diferencias entre los tratamientos para el primer y segundo ciclo de muestreo. Para el primer ciclo de muestreo puede observarse en la gráfica 12 que T1 y T2 son los tratamientos que cuentan con los valores más altos para C.O, siendo estos de 4.43 y 3.18 respectivamente, encontrándose estos valores en un rango alto en base a los rangos proporcionados en los análisis, donde los valores mayores a 2.5 para C.O son considerados altos. En cuanto al segundo muestreo los valores para T1 y T2 siguen siendo mayores en comparación con T3 que contaba con un valor de 0.38 para el primer muestreo y 0.45 para el segundo. Para el segundo muestreo T1 se encuentra en un rango medio con 2.28, mientras que T2 se encuentra en un rango ideal con 2.48 y T3 se posiciona en un rango bajo. Estos valores de C.O eran de esperarse para T1 y T2 por la adición de enmiendas orgánicas, las cuales sirven como fuente de M.O para el suelo. Al generarse

una descomposición de la materia orgánica, se obtiene una gran variedad de productos que influyen sobre la fertilidad del suelo, los cuales son el resultado de la mineralización, suministrando elementos nutritivos y compuestos húmicos importantes en génesis y evolución que intervienen en las características físicas y químicas del medio (IGAC, 2004).

Los valores de C.O los atribuimos a la incorporación de enmiendas orgánicas, las cuales nos proporcionan riqueza de este material. El C.O se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, este C.O asociado a la materia orgánica proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico, ahora, el C.O posee la capacidad de modificación de la acidez y la alcalinidad hacia valores que sean cercanos a la neutralidad, esto sirve como explicación de porqué el pH para T1 y T2 en el segundo ciclo de muestreo se acerca a valores neutros presentando T1 un pH de 7.80 y T2 de 7.92. A su vez esta variable estudiada afecta las propiedades del suelo que se relacionan con el rendimiento de los cultivos, donde se encuentran vinculados con la cantidad y disponibilidad de nutrientes (Martínez et al., 2008).

Podemos establecer comparaciones con (Fernández & Perdomo, 2015), donde estudiaron el % de C.O en fincas ecológicas y convencionales, donde las fincas ecológicas obtienen un porcentaje de C.O alto, relacionando estos aportes de materia orgánica con la incorporación de abonos orgánicos como purines, compostajes, etc. Este aporte realizado por los restos orgánicos da lugar al aumento de los contenidos de nutrientes del suelo.

Gráfica 12. Variable C.O bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril)



El ANOVA para este parámetro (Anexo 20), dio como resultado que no existen diferencias significativas entre los tratamientos. Esto se debe a la explicación antes descrita para pH, la cual también es aplicable para este caso.

3.6.3 Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva CIC_E de los 3 tratamientos bajo la influencia de estériles de carbón

La variable CIC_E , muestra diferencias entre cada tratamiento en las dos fases de muestreo, de acuerdo a la gráfica 13 puede observarse que no existen variaciones muy significativas entre los tratamientos en las dos fases de muestreo, por lo que no se evidencia un cambio muy notorio en la variable analizada. En cuanto a los valores obtenidos se observa que T1 tiene una variación entre 21.13 y 19.3; encontrado así el primer valor en un rango alto y el segundo un rango ideal. Para T2 tenemos los valores 16.16 para el primer muestreo y 18.8 para el segundo, encontrándose ambos valores en un rango ideal. Por ultimo T3

cuenta con los valores más bajos, siendo estos de 8.63 y 8.43 ubicándose de esta forma en un rango medio.

Los rangos de pH encontrados en los suelos pueden darnos una explicación de los valores en rangos ideales y medios encontrados en los tratamientos, pues la CIC_E nos cuantifica la capacidad del suelo para retener cationes, encontrándose estos en gran medida en el suelo. A su vez el almacenamiento de nutrientes y la materia orgánica proporcionan carbono y energía a los microorganismos del suelo, estabilizando y uniendo a las partículas en agregados, mejorando de este modo la capacidad del suelo para almacenar y permitir el flujo de aire, incrementando la CIC_E y disminuyendo la posibilidad de compactación. La CIC_E puede relacionarse también con el contenido de C.O en donde (Rodríguez & López, 2006), afirman que la contribución de CIC_E se debe a la materia orgánica.

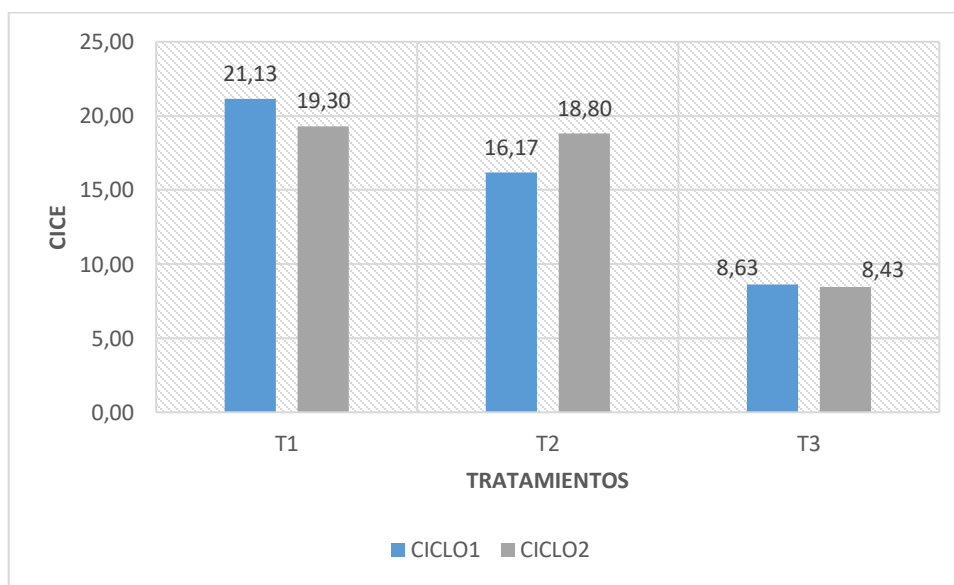
La CIC es una propiedad química que está vinculada con la fertilidad del suelo, que a su vez depende de coloides inorgánicos y el contenido de M.O, los suelos pueden tener una carga permanente y otra que varía con el pH, observándose de este modo un aumento de la CIC con el pH, la CIC permanente proviene de la fracción de arcilla, mientras que la CIC variable depende de las sustancias húmicas (Martínez et al., 2008), la materia orgánica y las arcillas poseen cargas eléctricas negativas y son las encargadas de la retención de cationes, habilitándolos para ser absorbidos por las plantas, la CIC_E en un suelo ácido es un reflejo real de la habilidad de este para retener cationes intercambiables, importando en esta capacidad la clase de iones que la integran, es decir que sus constituyentes predominantes deben ser calcio, magnesio, potasio y sodio, la CIC_E mide

la capacidad real del suelo para retener cationes en el campo y es la que se relaciona con la producción de las cosechas (IGAC, 2004).

La capacidad de intercambio confiere a los suelos características que permiten el crecimiento vegetal, la floculación de coloides, retención y almacenamiento del agua y la reserva de nutrientes.

De acuerdo al análisis de varianza, no existen diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo 21).

Gráfica 13. Variable CICE bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril)



3.6.4 Porcentaje de saturación de cationes

3.6.4.1 Calcio (Ca^{2+}) de los 3 tratamientos bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos.

Para esta variable, podemos observar un comportamiento diferente al que hemos estado viendo en las variables anteriores, donde estas en el segundo ciclo de muestreo tendían a

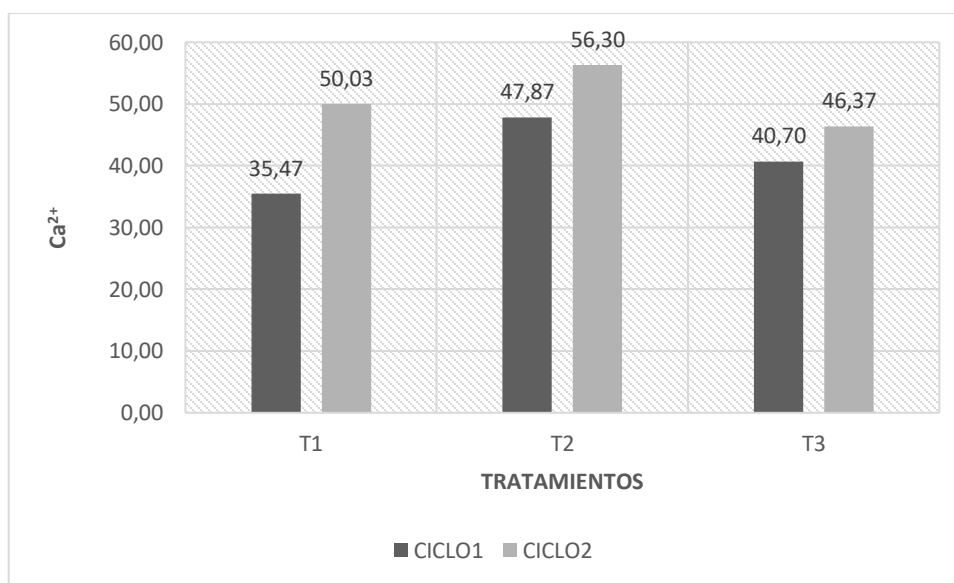
disminuir su valor. Nos encontramos ante una variable que para los tres tratamientos en la segunda fase de muestreo muestra un incremento, siendo estos más significativos en T1 y T2, donde presentaban valores de 35.46 y 47.86 en el primer ciclo y terminaron con un valor de 50.03 y 56.3 respectivamente; T3 también presentó un incremento en este valor, siendo el primero de 40.7 y el segundo de 46.36 (gráfica 14). En cuanto a los rangos proporcionados por los análisis, para la primera fase de muestreo este valor se ubicó en un rango deficiente (<50), para la segunda fase de muestreo T1 y T2 logran posicionarse en un rango medio (50-60), quedando T3 en un rango deficiente.

Hay que resaltar que estos valores, aunque presentaron incrementos en sus valores, no son valores que puedan ser ubicados en un rango ideal pues se ubican en rangos deficientes para T3 al finalizar los muestreos y rangos medios para T1 y T2, lo que es entendible por la incorporación de la materia orgánica y el aporte que esta hace. Este catión alcalino-terreo posee las características de neutralizar las cargas negativas de la fracción coloidal del suelo, denominándose bases intercambiables y su porcentaje abarcado en la CIC se llama saturación de bases, este contenido de bases es un indicador de los procesos pedogenéticos que han ocurrido en el suelo, como también sus factores formadores, principalmente el clima y material parental (IGAC, 2004). El contenido de Ca^{2+} depende principalmente del material parental, del contenido de arcilla y materia orgánica de los suelos (Del pino, 2013), las cantidades de este catión, normalmente se exceden en los suelos, por lo que también exceden las necesidades de los cultivos, cosa que contrasta totalmente con los análisis obtenidos en este estudio, pues al tratarse de estériles de carbón es de esperarse que contengan bajo o nulo contenido nutrimental, si bien se presentan cantidades considerables de Ca^{2+} , no puede decirse que este se presente en abundancia en

los tratamientos, pues de acuerdo a los análisis los rangos en los cuales se ubica este catión son medio para T2 y T1 y deficiente para T3 que no contaba con la aplicación de enmiendas orgánicas.

El análisis de varianza (ANOVA), no mostro diferencias significativas entre los tratamientos y este parámetro (Anexo 22)

Gráfica 14. Variable Ca^{2+} bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril)



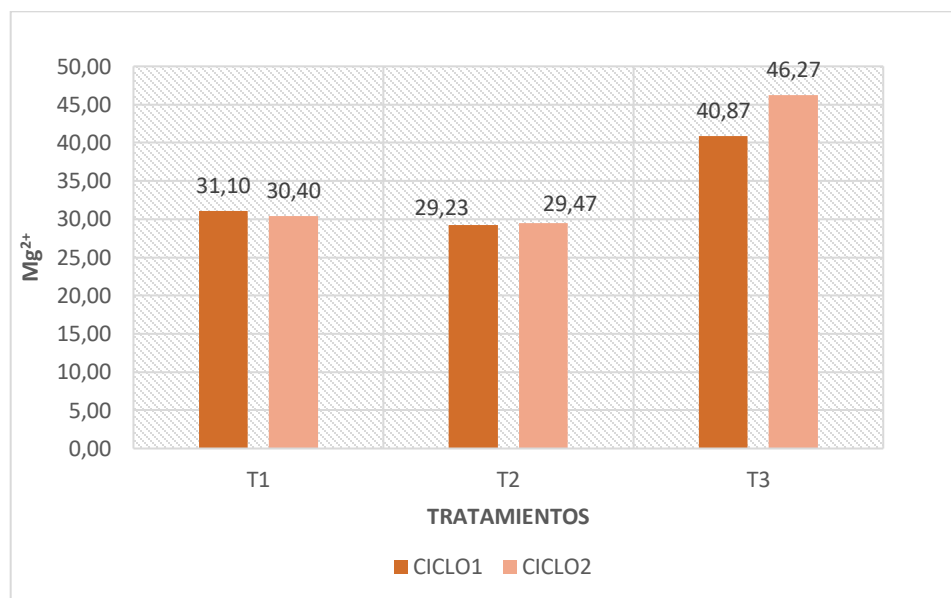
3.6.4.2 Magnesio (Mg^{2+}) de los 3 tratamientos bajo la influencia de estériles de carbón.

Para esta variable, se hace notable que sus valores se mantienen casi constantes a lo largo de los dos ciclos de muestreo para cada tratamiento, no se evidencian unas diferencias significativas entre los muestreos, aunque entre tratamientos se hace notorio que T3 se encuentra por encima de T1, así como T1 se encuentra por encima de T2. En cuanto a estos valores para T1 para ambos ciclos se encuentra en exceso (>20), así como para T2 y T3 respectivamente (grafica 15).

Al igual que Ca^{2+} el magnesio posee la característica de ser un catión alcalino-terreo que cumple con las mismas funciones antes dicha de neutralizar las cargas negativas de la fracción coloidal del suelo (IGAC, 2004), este contenido de bases es deducido de igual forma por sus factores formadores como clima y material parental como también los procesos pedogenéticos que tienen lugar en el suelo, este contenido de Mg^{2+} se encuentra muy relacionado y es una de las principales razones a su material parental, el contenido de arcilla y la materia orgánica del suelo. Las deficiencias de magnesio generalmente ocurren en suelos de textura gruesa y ácidos con baja CIC (García, 2011). El contenido alto de Mg^{2+} en el suelo puede ser explicado a través de su material parental, este material a través de diferentes procesos de cambio puede ser una fuente de magnesio la cual genera que este se pueda encontrar en grandes cantidades en el suelo. Esto podría ser una explicación de por qué T3 que está compuesto solo por estériles de carbón posee un contenido tan elevado de Mg^{2+} , en comparación con los otros 2 tratamientos que no poseen valores tan altos.

Para este parámetro al igual que para los demás, el ANOVA no arrojó diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo 23).

Gráfica 15. Variable Mg^{2+} bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril)



3.6.4.3 Potasio (K^+) de los 3 tratamientos bajo la influencia de estériles de carbón.

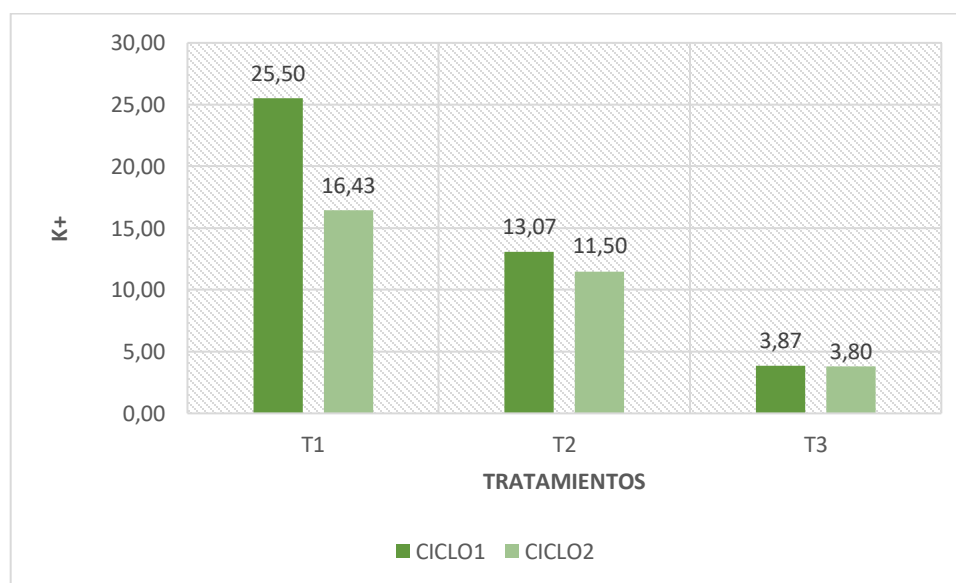
En cuanto a esta variable, es posible evidenciar cambios, aunque no muy grandes entre los ciclos de muestreo de cada tratamiento (gráfica 16), pero si se evidencian diferencias entre los valores de cada tratamiento. Para T1 tenemos valores de 25.5 y 16.43 para el primer y segundo muestreo, estos valores se encuentran en un rango de exceso ($>5,0$), como también se encuentra T2 que tiene valores de 13.066 y 11.5. Para T3 vemos que la situación es diferente, encontrando valores de 3.86 y 3.8; encontrándose estos valores en un rango medio (3.0-4.0).

Para esta variable encontramos una situación diferente en comparación a las demás, pues T3 presenta un valor menor, encontrándose T2 y T1 con valores más significativos. Esto es de esperarse pues al tener T3 solo estéril de carbón no se presume que contenga altas cantidades de este catión. K^+ es un catión alcalino que al igual que los demás cationes puede neutralizar cargas negativas. Los contenidos de K pueden originarse de forma

natural, más aún en suelos que son arcillosos, sin embargo, notamos que los valores más altos de K son para T1 y T2, que cuentan con la incorporación de enmiendas orgánicas, a partir de esto, estos tratamientos obtuvieron un incremento de K, lo que registra aumentos de este elemento en el suelo para T1 y T2 conforme a la incorporación de abono.

El ANOVA para este parámetro no mostro diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo 24).

Gráfica 16. Variable K⁺ bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril)



3.6.4.4 Sodio (Na⁺) de los 3 tratamientos bajo la influencia de estériles de carbón.

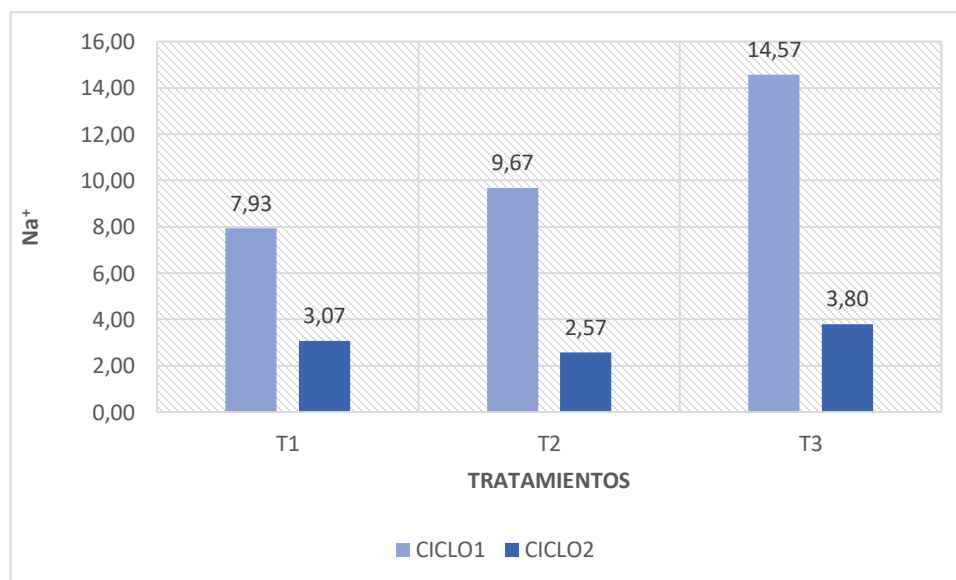
Nuestro último parámetro dentro de la variable saturación de bases es Na⁺, con la ayuda de la gráfica 17, puede observarse que, para el segundo ciclo de muestreo de los 3 tratamientos, se presentó una reducción considerable en los valores de la variable. Tenemos que T1 paso de 7.9 a 3.06; T2 paso de 9.66 a 2.56 y T3 paso de 14.56 a 3.8. De acuerdo a los rangos proporcionados en los análisis todos los tratamientos pasaron a tener

un rango ideal ($<5,0$) en la segunda fase de muestreo, cuando T1, T2 y T3 en la primera fase de muestreo, no se posicionaban en ningún rango.

El Na^+ al igual que K^+ es un catión alcalino, con las mismas propiedades de neutralización de cargas negativas que poseen los otros cationes, a diferencia de los anteriores cationes, no se ha probado que sea un nutriente esencial para las plantas, algunas plantas como la remolacha y la espinaca han mostrado una respuesta positiva en condiciones de escasez de Na^+ (Del pino, 2013), el exceso de este catión puede estar relacionada al origen del suelo, como también al manejo que se le dé a este.

Para este parámetro no se establecieron diferencias significativas entre tratamientos en base al análisis de varianza (Anexo 25).

Gráfica 17. Variable Na^+ bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril)



Para cada uno de los parámetros analizados en % de saturación de cationes no se evidenciaron diferencias significativas de acuerdo a los análisis de varianza para cada

parámetro. Pero en base a los análisis químicos, los tratamientos presentan una alta presencia de minerales primarios, los cuales dependen del material y los procesos de meteorización que presentó el material parental del cual provino el substrato usado en este estudio, estos minerales son fuentes de cationes para las plantas y su porcentaje puede evidenciarse en los análisis químicos, donde Ca^{2+} se posiciona en rangos medios para T1 y T2 y deficiente para T3, a su vez para Mg^{2+} y K^+ aunque estos disminuyeron. Estos parámetros, son cationes que se encuentran en exceso en el medio, excepto por K^+ en T3, el cual se posiciono en un rango medio. Esto puede explicarse a través del pH que el suelo presenta, pues al presentar una disminución y acercarse a un pH neutro, esto permite que se halla una alta disponibilidad de dichos cationes, así como Na^+ que se encuentra en un estado ideal.

3.6.5 Fósforo (P) de los 3 tratamientos bajo la influencia de estériles de carbón

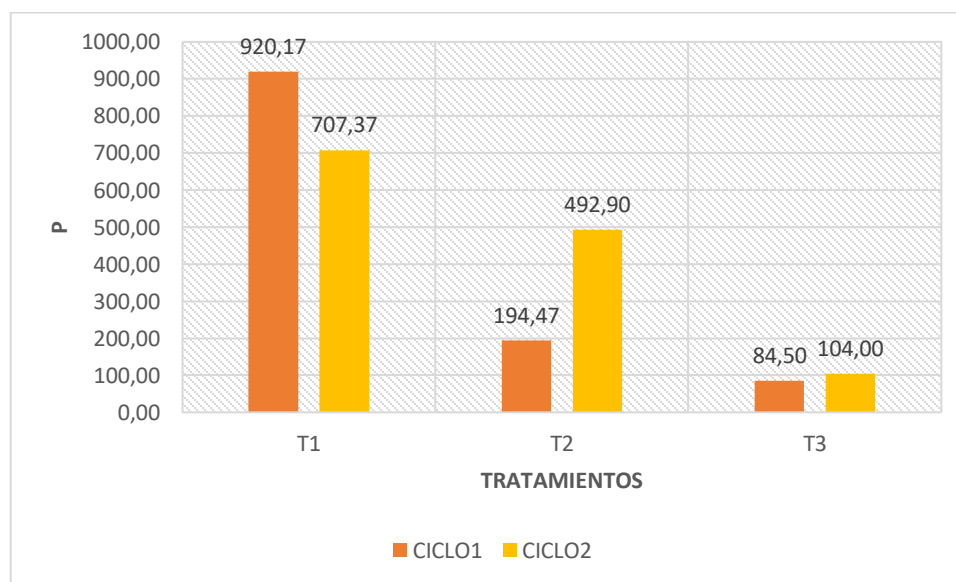
Para este elemento existen diferencias entre el P de cada tratamiento para el primer y segundo ciclo de muestreo. Para T1 puede evidenciarse una disminución de P, pasando de 920.16 un valor que se encuentra en exceso (>40) a 707.36, encontrándose aun en un rango de exceso. Para T2 se observa un incremento en el segundo ciclo, pasando de 194.46 a 492.9, encontrándose estos valores al igual que los de T1 en exceso. Para T3 el valor aumenta en el segundo ciclo de muestreo, pasando de 84.5 a 104, siendo estos valores ubicados en un rango de exceso al igual que el resto de tratamientos (grafica 18).

Centrándonos en el fósforo de acuerdo a (Munera et.al., 2014), la concentración de fósforo en la solución del suelo es de vital importancia para la nutrición vegetal, ya que las raíces de las plantas absorben fósforo de esta solución, encontramos nuevamente que la alta disponibilidad de P se encuentra ligada al pH, ya que la transformación de los fosfatos se

encuentra controlada por el pH. También, los bajos valores de pH pueden explicar la baja disponibilidad de P, el fósforo puede verse limitado debido a la alta capacidad de fijación del mismo en estériles con grandes contenidos en fragmentos gruesos procedentes de areniscas, la alteración de los estériles determina que estos se enriquezcan en óxidos de Fe que secuestran el P. Ahora, el P ligado a la materia orgánica no está sujeto a esta fijación, por lo que puede ser crítico el establecimiento de una reserva orgánica de P durante un proceso de restauración, por lo que la aplicación de los fertilizantes puede asegurar que P pueda estar disponible durante los primeros años, hasta que se establezca una reserva de P.

Para el análisis químico de P, el análisis de varianza no arrojó diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo 26).

Gráfica 18. Variable P bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril)

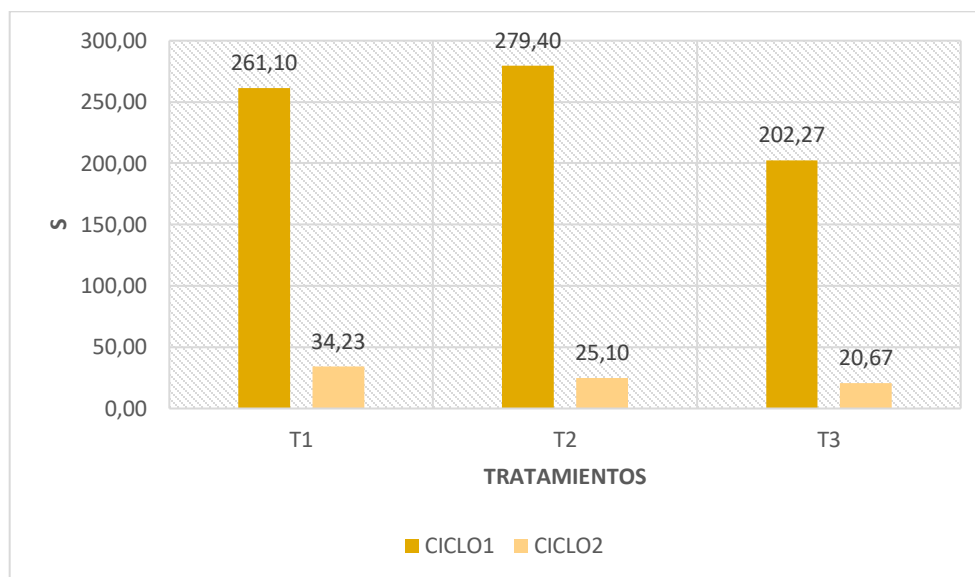


3.6.6 Azufre (S) de los 3 tratamientos bajo la influencia de estériles de carbón

Por último, tenemos la variable S, la cual para el segundo ciclo de muestreo mostro una reducción de sus valores para cada tratamiento. Para T1 encontramos que en la primera fase de muestreo paso de 261.1 a 34.23, encontrándose para los dos casos en un rango alto (>20). Esto se asemeja para T2 y T3 los cuales tenían valores de 279.4 y 202.26, pasando a valores de 25.1 y 20.66; encontrándose estos valores de igual forma en un rango alto para el primer y segundo ciclo de muestreo (grafica 19). El azufre es considerado un elemento esencial para la nutrición de las plantas, pues tiene una gran participación en el fortalecimiento de la estructura vegetal (González et al., 2005), de acuerdo a la literatura, este se clasifica como azufre orgánico e inorgánico, siendo la suma de estos dos el azufre total; el azufre analizado en nuestro estudio, proviene de residuo animales y vegetales. Este contenido de azufre en el suelo puede evidenciarse en valores altos para T2, bajo para T3 y medio para T1. Aunque en consideración con los análisis todos los tratamientos presentan rangos altos. Este contenido de azufre puede interpretarse a través de la incorporación de enmiendas, las cuales les propiciaron riquezas nutrimentales a los tratamientos, en especial a T2 que es un tratamiento compuesto por compost y estéril.

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de acuerdo al análisis de varianza (Anexo 27).

Gráfica 19. Variable S bajo la influencia de estériles de carbón en 3 tratamientos T1(estéril+bovinaza), T2(estéril+compost) y T3(100% estéril)



3.7 ESTRATEGIAS DE MANEJO AMBIENTAL

Tabla 5. Estrategias de manejo ambiental

ESTRATEGIAS DE MANEJO AMBIENTAL	
OBJETIVO	Establecer medidas de manejo ambiental del material sobrante (Estéril de carbón), generados en la extracción de carbón.
TIPO DE MEDIDA	PREVENCION
IMPACTOS A CONTROLAR	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Alteración del paisaje ➤ Degradación del suelo ➤ Alteración de la Vegetación ➤ Alteración de fauna ➤ Generación de residuos

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Contaminación del aire ➤ Contaminación del agua
ACCIONES	<ul style="list-style-type: none"> • De acuerdo al plan de manejo ambiental aprobado por la Corporación autónoma regional CVS se plantean acciones de manejo ambiental en la mina La Primavera las cuales son: • Gestión Social: la cual se basa en la realización de reuniones informativas con las comunidades del área de influencia, donde se socializan temas relacionados con el ambiente y veeduría social- • Protección del recurso suelo: Aún no ha sido necesario la creación de obras de bioingeniería, así mismo, no se han hecho actividades de revegetalización puesto que se está empezando operación y no hay frentes abandonados, ni zonas que lo requieran. Se realizan continuamente inspecciones de las

	<p>vías y áreas de la mina susceptible a manejo de forma preventiva para identificar taludes que presenten problemas erosivos. Una vez definidas las áreas afectadas por erosión, se fija el cronograma de inspecciones y monitoreo para ejecutar las obras de control y programar su mantenimiento periódico para las mismas. Los puntos cuentan con un sistema de terrazas para evitar posibles de erosión.</p> <ul style="list-style-type: none"> • . Educación ambiental: El personal de la mina La Primavera se capacita constantemente para reaccionar ante cualquier emergencia, en el caso de encontrar fauna realizar la captura, reubicación y liberación, según lo establecido en el PMA, lo que favorece la respuesta ante cualquier eventualidad o incidente ambiental.
--	---

- Protección y sostenibilidad del recurso flora: Previo al descapote se realizan charlas de Educación Ambiental con el personal a trabajar en este, así mismo, se evidencia que solo se descapotaron las áreas necesarias para las obras del proyecto, la zona perimetral del proyecto cuenta con cobertura vegetal de tipo rastrojos las cuales no fueron intervenidas ni afectadas. Actualmente el programa de recuperación del recurso vegetal no se encuentra en ejecución, porque aún no hay abandono de frentes de explotación y el programa de compensación está iniciando. La mina cuenta con cobertura natural perimetral, la cual es protegida a fin de crear una barrera viva que minimice los impactos relacionados con ruidos y emisiones de partículas generadas

	<p>por la actividad minera y que permita el movimiento de fauna.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Protección del recurso fauna: En actividades iniciales del proyecto se realizó rescate y reubicación de especies a través de la Fundación para la Gestión Social y Ambiental (GESAMBIENTAL) la cual realizó actividades de muestreos de fauna silvestre, priorización de áreas, ahuyentamiento, rescate y ubicación de fauna. Así mismo, se desarrollaron tres talleres de educación ambiental sobre manejo de fauna silvestre a los operarios que laboran en el proyecto y con la comunidad del área de influencia directa. • Manejo integral de residuos sólidos y líquidos: Los residuos sólidos generados en la empresa son recolectados y clasificados, por lo que se ha dispuesto un sitio (Punto
--	---

	<p>ecológico) de disposición temporal de los residuos sólidos, en este se ubican los contenedores de almacenamiento de residuos que se generen durante la actividad de explotación, estos son clasificados y depositados en tanques por colores debidamente marcados, dentro de las siguientes categorías: residuos desechables plásticos, residuos peligrosos, residuos desechables papel y cartón, residuos de vidrio y residuos orgánicos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Manejo de aguas residuales domesticas: En cuanto a las aguas residuales domesticas estas actualmente no se están generando como producto de las actividades humanas, dado que no están viviendo dentro de la zona del proyecto. Para las necesidades de los empleados y visitantes se
--	---

	<p>encuentran dispuestos dos baños portátiles, a los cuales le realizan la recolección 1 vez por semana, la empresa RESITER HYGEIA y les realiza lavado y mantenimiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Emisiones atmosféricas: Para el control de las emisiones de partículas en suspensión por parte de la actividad de extracción, acopio y transporte del material dentro y fuera del proyecto, se realiza humectación de 7.9 km de vías desde GECELCA hasta la Finca los Mases y de 1.9 km desde Los Mases hasta la mina con agua traída en carro tanques de la empresa desde el corregimiento Pica antiguo, todas las veces que es necesario durante los días secos en promedio 2 veces por día; se evidencia el mantenimiento de las vías internas y de acceso las cuales se encuentran en buen estado.
--	---

LUGAR DE APLICACIÓN	Zonas donde se estén llevando a cabo actividades extractivas de carbón.
RESULTADOS ESPERADOS	Proporcionar medidas que contribuyan a la restauración ecológica de las zonas afectadas por la minería.
PERSONAL REQUERIDO	Personal operativo de la mina.

4. CONCLUSIONES

A manera de conclusión, se puede decir que la incorporación de enmiendas orgánicas a un sustrato derivado de las actividades de extracción de carbón (estéril de carbón), genera unos impactos positivos en el crecimiento y desarrollo de la planta, esto se pudo notar en las diferentes variables analizadas de las plantas, por ejemplo en la variable longitud del tallo de la planta se pudo observar diferencias entre las plantas que se encontraban en los diferentes tratamientos, donde notoriamente los tratamientos con enmiendas orgánicas (T1 y T2) dieron mejores resultados a diferencia de T3 que constaba solo de estéril de carbón. Estas diferencias se hacen notables para el diámetro del tallo, el número de hojas, área foliar y masa seca, donde a lo largo de esta investigación mostraron mejores resultados para los tratamientos con abonos orgánicos, también fue posible evidenciar la relación que pueden guardar estas variables entre sí, por ejemplo a través de las investigaciones realizadas se hizo posible conocer que la variable área foliar se encuentra relacionada con los resultados de masa seca, lo que nos dice que el área foliar de una planta puede servir como indicador de su masa seca, a su vez, el área foliar de una planta se encuentra profundamente arraigada a su número de hojas, pues en base a estas, fue posible determinar el área foliar de las plantas en los diferentes tratamientos. Cabe resaltar que, aunque la materia orgánica tuvo muchos efectos positivos en el crecimiento y desarrollo de la planta, las condiciones ambientales, las características de la planta como su genotipo, fotosíntesis, respiración, y la resistencia de esta juegan un papel importante

en el desarrollo de la misma. También se notó que la incorporación de enmiendas puede generar un cambio en la química del suelo, aunque estos cambios no sean tan notorios entre los tratamientos, se pudo notar como para los tratamientos 1 y 2 las enmiendas orgánicas generaron un aumento en el C.O del suelo, a diferencia de T3 que presenta valores bajos, el pH para todos los tratamientos es ligeramente alcalino, que es atribuido a la naturaleza de los estériles como también puede atribuirse a los abonos orgánicos los cuales se presume jugaron un papel importante para acercar a la neutralidad los tratamientos 1 y 2. En cuanto a CIC esta se encuentra relacionada con la incorporación de enmiendas como también al pH presentado en cada tratamiento. El % de saturación de cationes fue una variable en la que se observaron unos resultados interesantes en cuanto a los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} , pues a pesar de contar con T3 que era 100% estéril de carbón, posee valores considerables, lo que nos lleva a concluir que estas cantidades pueden deberse al material del cual se originaron estos estériles, el fósforo y el azufre presentaron mayor concentración en T1 y T2, lo que puede relacionarse con la incorporación de enmiendas. De esta forma pudo evidenciarse que los estériles al ser mezclados con abonos orgánicos tienen una influencia en el crecimiento de la vegetación y logran generar cambios en la disponibilidad de nutrientes, lo cual es considerado como una solución alternativa para disminuir los residuos de estériles generados, permitiendo establecer medidas de aprovechamiento del material y restauración ecológica de las áreas afectadas por la minería.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la incorporación de plantas de diferentes especies para conocer el comportamiento de estas ante los tratamientos aquí utilizados.
- Se recomienda establecer más tratamientos para este tipo de estudios, con el objetivo de establecer más comparaciones entre tratamientos y de esta forma conocer las diferentes oportunidades que puede tener un suelo para su desarrollo y establecimiento de vegetación.
- Cada tratamiento demostró tener una influencia positiva en el desarrollo de la planta, pero los tratamientos 1 y 2 fueron los que mejores resultados arrojaron, por lo que estos tratamientos son los recomendados para garantizar un buen desarrollo en el crecimiento de las plantas.

6. BIBLIOGRAFIA

- Agencia Nacional de Minería (ANM). (2013). Carbón.
- Agencia Nacional Minera (ANM). (2017). Departamento de Córdoba.
- Adams, R.F. and Stevenson, F.J. (1964). Ammonium Sorption and Release from Rocks and Minerals. Soil Science Society of American Proceedings, 28, 345-351.
- Alday, J.G. (2011). Influencia de factores abióticos en la revegetación temprana tras hidrosiembra de estériles de carbón. Ecosistemas 20 (2): 133-137. Mayo 2011.
- Alday, J., & Martinez, C. (2011). Vegetation succession on reclaimed coal wastes in Spain: the influence of soil and environmental factors. IAVS, applied vegetation science.
- Alday, J., Marrs, R., & Martinez, C. (2013). Establecimiento y desarrollo de leñosas en restauraciones mineras. Department of Ecology, School of Environmental Sciences, University of Liverpool.
- Alvarado, N. K.; López, P. V.; Castillo, J. A. (2011). Pérdida de suelo por erosión hídrica en diferentes sistemas de producción con papa *Solanum tuberosum* L. Colombia. Revista de Ciencias Agrícolas. 28(1):64 - 72.
- ANDI, cámara asomineros. Tomado de: Cárdenas, M., & Reina, M (2008). La minería en Colombia: Impacto socioeconómico y fiscal.

- Arranz, J. (2015). Rehabilitación o remediación de espacios degradados por minería a cielo abierto: investigación, desarrollo e innovación en España. Instituto Geológico y Minero de España.
- Arranz, J. (2011). Suelos mineros asociados a la minería de carbón a cielo abierto en España: una revisión. Departamento de Investigación en Recursos Geológicos, Instituto Geológico y Minero de España.
- Barrera, J. Suárez, D. & Melgarejo, L. (2010). Análisis de crecimiento en plantas.
- Beltrán, M. Brutti, L. Romaniuk, R. Bacigaluppo, S. Salvagiotti, F. Sainz, H. Galantini, J. (2015). Calidad de la materia orgánica y disponibilidad de macro y micronutrientes por la inclusión de trigo como cultivo de cobertura. Cienc Suelo. Argentina. No. 34(1). Pg: 67-79.
- Birchler, T. Rose, R. Royo, A. & Pardos M. (1998). La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica.
- Blasco Galve, J., Albeniz, M.A., Campas, M., Cortecero, F. y Comín Sebastián, F. (2002). Recuperación del hueco final de la explotación a cielo abierto “Corta Alloza”. XI Congreso Internacional de Industria, Minería y Metalurgia, Zaragoza, I, 382.
- Blum, H. E. W., P. B. Warkentin and E. Frossard (2006), “Soil, human society and the environment”, Geological Society, Special publication, no. 266, pp. 1-8.
- Bradshaw, A.D. (1997). Restoration of mined lands using natural processes. Ecol. Eng. 8: 255-269.

- Bradshaw AD. (1983). The reconstruction of ecosystems: presidential address to the British Ecological Society, December 1982. *Journal of Applied Ecology*. 20, 1–17.
- Burchartl, D. Fugiel, A. Czaplicka, K. & Turek, M. (2016). Model of environmental life cycle assessment for coal mining operations. Central Mining Institute, Plac Gwarków 1, 40-166 Katowice, Poland.
- Cacua, L. (2008). Producción de abonos orgánicos, aplicando procesos de compostaje y lombricultivo a residuos de las cadenas agrícolas y pecuarias enfocado al biomejoramiento del agro colombiano, Universidad de Pamplona. Colombia.
- Camacho, F. Uribe, L. Newcomer, Q. Masters, K. Kinyua, M. (2018). Bio-optimización del compost con cultivos de microorganismos de montaña (MM) y lodos digeridos de biodigestor (LDBIO). *UNED Research Journal*. Vol. 10(2). Pg: 330-341.
- Campos, R. Peralta, L. Jiménez, M. (2016). Evaluación técnica de dos métodos de compostaje para el tratamiento de residuos sólidos biodegradables domiciliarios y su uso en huertas caseras. *Tecnología en marcha. Encuentro de Investigación y Extensión*. Pg: 25-32.
- Cardenas, J. (2013). La minería en México: despojo a la nación. *Revista Mexicana de derecho constitucional*.
- Castellanos, M. Segura, M & Núñez, C. (2010). Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*solanum tuberosum L.*) en el

municipio de Zipaquirá (Cundinamarca-Colombia). Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín 63(1): 5253-5266.

- Castillo, J. Pérez, R. Navarro, O. 2016. Caracterización del lombricompostaje con bovinaza, *Gliricidia sepium* y *Pennisetum purpureum*, procedentes de la granja ecológica san Judas Tadeo, Sampués, Sucre, Colombia. Revista Colombiana de Ciencias Animales. No. 8. Pg: 268-275.
- Cerquera, B. Oyola, Y. López, L. Agudelo, C. (2015)
- Chilon, E. Chilon J. (2015). Compostaje Altoandino, seguridad alimentaria, cambio climático y biorremediación de suelos. La Paz. Bolivia. CienciAgro. Vol.1. No.1.
- Clabel, J. Nicolodelli, G. Felicio, N., Bezzon, V. Milori, D. (2016). Asociación de materia orgánica y minerales en suelos Amazónicos: Un estudio espectroscópico. Revista ECI. Perú. Vol 12 No. 2. Pg: 79-84.
- Daniels, W. & Zipper, C. (1997). Creation and Management of Productive Mine Soils. Reclamation Guidelines. Powell River Project. Virginia Cooperative Extension Publication 460-121. 12p.
- Del Pino, A. (2013). Nutrición Catiónica (código 449).
- FAO- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Recuperado de: www.fao.org/contact-us/licence-request.
- Ficha Técnica. (2011) Estériles de Carbón. Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino. Centro de estudios y experimentación de obras públicas.

- Fueyo, M., & Baranda, A. (1991). Utilización de los Estériles del carbón en la agricultura, resultados preliminares. Consejería de medio rural y pesca, instituto de experimentación y promoción agraria.
- Gallardo, J. (2017). Suelos y ambiente. Regeneración de suelos.
- Gardner, F. Pearce, R. & Mitchell, R. (1985). Physiology of crop plants. Iowa State University Press, USA. 325 p.
- Garcia, F. (2011). Las bases: Potasio, calcio y magnesio. Instituto Internacional De Nutrición De Plantas. Curso fertilidad de suelos y fertilización de cultivos.
- Gil, E. & Triviño, M. (2015). Utilización de los residuos de la extracción de carbón y del proceso de coquización junto con desechos plásticos, como alternativa de obtención de materiales. Energética, núm. 46, diciembre, 2015, pp. 85-95 Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Gil, A. (1997). Importancia de las especies forestales en la restauración de suelos de minas. SECCIÓN RESTAURACIÓN y MEDIO AMBIENTE MINA. ENDESA. APTO. 27. 15320. As PONTES (LA CORUÑA).
- Gómez, C. Buitrago, C. Cante, M & Huertas, B. (1999). Ecofisiología de papa (*Solanum tuberosum*) utilizada para cultivo fresco y para la industria. Revista Comalfi 26(1-3): 42-55.
- González, M. Saldarriaga, J. (2008). Remoción biológica de materia orgánica, nitrógeno y fósforo en un sistema tipo anaerobio, anóxico y aerobio. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Colombia. No 10. Pg: 45-53.

- González, H. & Sadeghian, S., & Mejía, B. (2005). El azufre en los suelos de la zona cafetera colombiana. Federación nacional de cafeteros en Colombia, avances técnicos cenicafé, Gerencia técnica, programa de investigación científica.
- Gosz, J.R., Barton, L. and Potter, L.D. (1977). An Evaluation of New Mexico Humate Deposits for reforestation of Mine Spoils. In: R. A. Wright (Ed.). The Reclamation of Disturbed Arid Lands. The University of New Mexico Press, Albuquerque, pp. 180-188.
- Graetz, H. A., (1997). Suelos y Fertilización. Traducido por: F. Luna Orozco. Trillas. México. 80 p.
- Guariguata, M., & Kattan G. (2002). Sucesión secundaria. Ecología de bosques neotropicales, editorial tecnológica, Cartago, Costa Rica.
- Gutiérrez, A., Obando, C.J., Moreno, C.J. (2017). Physical and mechanic characterization of the sterile part of coal, searching for an environmental alternative in civil infrastructure works. Investigación e innovación en ingenierías, vol. 6, n°. 2, 2018. DOI: 10.17081/ invinno.6.2.3109. Fundación universitaria agraria de Colombia.
- Hermann, F. (2001). Tipos de minería de carbón. Minas y Canteras, Industrias basadas en recursos naturales.
- Hethmon, T., & Dotson, K. (2001). Minas a cielo abierto. Minas y Canteras, Industrias basadas en recursos naturales.
- Hobbs, R. & Norton, D. (1996). Towards a conceptual framework for restoration ecology. Restoration Ecology 4:93-110.

- Hueso, P. Martínez, J. Ruiz, J. (2017). Beneficios de los acolchados de paja y poda como prácticas para la gestión forestal de montes mediterráneos. Cuadernos de Investigación Geográfica 43. Recuperado de: <http://doi.org/10.18172/cig.3142>.
- Ibañez, J. (2007). Biodisponibilidad de los nutrientes para las plantas, pH del suelo y el complejo de cambio o absorbente.
-
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2004). Capítulo 4, propiedades del suelo. Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Nariño.
- Instituto Tecnológico Geominero de España. (1995). Manual de reutilización de residuos de la industria minera, siderometalúrgica y termoeléctrica. Madrid, España.
- Instituto tecnológico GeoMinero de España (1900). Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería. Serie: Ingeniería Geoambiental.
- Jennings, N. (2001). Visión general de la minería. Minas y Canteras, Industrias Basadas en Recursos Naturales.
- Jiménez, L. 2015. Evaluación del aprovechamiento de estériles de carbón mediante integración de materiales orgánicos en suelos de zonas afectadas por la minería en el municipio de Guachetá. Universidad Libre. Bogotá, Colombia.
- Juwarkar, A., Jambhulkar, H. (2007). Phytoremediation of coal mine spoil dump through integrated biotechnological approach. Nagpur, India.
- Keeling, A., (1994). Germination and growth of plants in media containing unstable refuse derived compost. Soil Biology and Biochemistry 26 (6), 767-772.

- Kru, H. (1997). Environmental Influences on Development Growth and Yield. pp. 101-180. In: Wien, H.C. (ed.) The physiology of vegetable crops. CABI Publishing, London.
- Lafaux, M. & Bastidas, J. (2013). Efecto de la aplicación de bovinaza sobre la composición nutricional del tubérculo de remolacha forrajera. Municipio de Pasto, departamento de Nariño.
- Larios, M. (2015). Evaluación de cachaza de caña de azúcar, cerdaza y bovinaza para la producción de germinados de maíz para forraje verde. Instituto Tecnológico de la Zona Maya. México.
- Leiros de la Peña, M. C., Gil Sotrés, F. Carballas Fernández, M., Codesido López C., González Sangregorio, M.V., Seoane Lavandeira, S. & Guitian Ojea, F. (1989). Recuperación edáfica de las escombreras de minas de lignito en Galicia. 1) Caracterización de los materiales estériles. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 48, 85-100.
- Li, R. & Daniels, W. (1994). Nitrogen Accumulation and Form over Time in Young Mine Soils. *Journal of Environmental Quality*, 23, 166-172.
- Lima, P., Sousa, T., Souza, A., & Sales, V. (2016). Equations for leaf area estimation in some species adapted to the brazilian semi-arid. *Revista caatinga*, ISSN 0100-316X universidade federal rural do semi-árido (ufersa).
- López, L. & Camargo, J. (2014). Edaphic nitrogen and nodulation of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit in silvopastoral systems. [Nitrógeno edáfico y nodulación de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit en sistemas silvopastoriles]. *Acta Agronómica*. No. 64 (4). Pg: 336-341.

- Luna, M. & Mesa, J. (2016). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. Revista científica Agroecosistemas. No 4(2), Pg: 31-40. Recuperado de: <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>.
- López, D. (2013). Variabilidad edafo-topográfica y de la estructura de la vegetación de comunidades vegetales asentadas sobre estériles de carbón. Área de Ecología, Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental, Universidad de León.
- López, F. & Eslava G., M. M. (2011), El mineral o la vida, la legislación minera en México, Centro de Orientación y Asesoría Pueblos Indígenas, Red IINPIM A.C.
- Lungu, O. I., (1993). Effects of lime an farmyard manure on soil acidity & maize growth on an acid alfisol from Zambia. Tropical Agriculture 70 (4), 309-314.
- Martinez, E. Fuentes, J. & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Producción Agrícola. Laboratorio de relación Suelo-Agua-Planta. Casilla 1004. Santiago de Chile.
- Martinez, M., & Garcia, X. (2007). Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México. Bol.Soc.Bot.Méx. 80 (Suplemento):69-84.
- Matiz, D., Orjuela, E., Cárdenas, Luz., (2009). Comparación de la eficiencia de los abonos orgánicos con respecto a los abonos químicos en fertilización en el cultivo de toronjil.

- Mejia, A., Cantos, E., & Viteri, J. (2011). Riesgo de desastres, contextos urbanos en América Latina. Revista Letras Verdes No 11.
- Mena, I. (2015). Efecto sobre el medio ambiente de la explotación del yacimiento de calizas “El Pílon”. Instituto Superior Minero Metalúrgico de MOA, Dr Antonio Núñez Jiménez.
- McIntosh, R.P. (1999). The sucession of sucession: a lexical chronology. Bulletin of the ecological society of America 80: 256-265.
- MINSALUD. (2015). ABECÉ de la minería. Subdirección de salud ambiental.
- MINMINAS (2018). Mitos y realidades de la minería, una visión distinta de la minería en Colombia. Plan voceros, realidades de la minería en Colombia.
- Monterroso, C, Gil. A., Pérez. S, & Macías, F. (2004). Restauración de suelos de mina: contribución a la fijación de carbono en el ecosistema terrestre. EDAFOLOGIA, Vol. 11(2) pp.135-148, 2004. Universidad de Santiago de Compostela.
- Murray, R. Orozco, M. Hernández, A. Lemus, C. & Nájera, O. (2014). El sistema agroforestal modifica el contenido de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo. Avances en Investigación Agropecuaria. No. 18 (1). Pg: 23-31.
- Norma Ambiental para el Distrito Federal. NADF 020. (2011). Requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el distrito federal. Gaceta Federal del Distrito Capital. México.

- Norma Técnica Colombiana. NTC 5167. (2011). Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. INCONTEC.
- Orozco, R., & Muñoz, R. (2011). Efecto de abonos orgánicos en las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de la mora (*Rubus adenotrichus*) en dos zonas agroecológicas de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 25, N° 1. Enero-Marzo 2012 Pág 16-31.
- Osorio, S. Rodríguez, O. Jaimes, J. Rodríguez, J. (2017). Comparación de la calidad del humus de material vegetal con el de residuos orgánicos domésticos, resultado del compostaje mediante el sistema de pilas. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*. Vol. 8. No. 2.
- Retamal, J. (2015). Labor minera y protección del medio ambiente: criterios para una redefinición. *Revista de Derecho, Universidad Católica del Norte Sección: Ensayos Año 22 - N° 1, 2015* pp. 507-528.
- Rodríguez, M & López, J (2006), “Caracterización de unidades biofísicas a partir de indicadores ambientales en Milpa Alta, Centro de México”, *Investigaciones Geográficas, Boletín, núm. 60, Instituto de Geografía, UNAM, México*, pp. 46-61.
- Romero, C. García, E. Hernández, E. (2015). Materia orgánica y densidad aparente en suelos del suroeste de La Malinche, Tlaxcala, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. Vol 2, No. 5. Pg: 64-70.
- Roza, N. (2007). Efecto de la aplicación de mezclas de biosólidos y estériles sobre las primeras etapas de la sucesión en la antigua arenera Juan Rey, Bogotá-DC. Pontificia Universidad Javeriana, facultades de estudios ambientales y rurales.


- Sanchez, L. (1995). Manejo de residuos sólidos en minería. Universidad de São Paulo, Brasil.
- Sanclemente, M. & Peña, E. (2008). Crecimiento y eficiencia fotosintética de *ludwigia decurrens* walter (onagraceae) bajo diferentes concentraciones de nitrógeno.
- Sauri, M. R., & Castillo, E. R. (2000). Utilización de la composta en procesos para la remoción de contaminantes. Red Ingeniería Revista Académica, 6(3), 55-60 Secretaría de Economía.
- Sarasty, J. Ortega, J. Castillo, J. Chaves, G. (2017). Diagnóstico de problemas de manejo del suelo con abonos orgánicos utilizando un minisimulador de lluvia. Rev. Cienc. Agr. No. 34(2). Pg: 46-61.
- Solorio, F. Solorio, B. (2008). Manual de manejo agronómico de *Leucaena leucocephala*. Fundación PRODUCE.
- Sosa, J. Laines, J. De La Cruz, A. Martínez, L. Pérez, M. Bautista, J. & Hernández, L. (2017). Tratamiento de residuos de agar caduco mediante el proceso de compostaje. Revista Colombiana de Biotecnología. Universidad Nacional de Colombia. Vol. 19. No. 1. Pg: 101-107.
- Tekalign, T. & Hammes, P. (2005). Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth II. Growth analysis, tuber yield and quality. Scientia Horticulturae 105 (1): 29–44.
- Tsuji, G. Uehara, G. & Balas, S. (1994). DSSAT v3. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii. 244p.


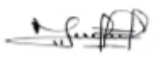
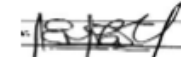
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2015). La cadena del carbón, El carbón colombiano fuente de energía para el mundo. ISBN: 958-97750-0-4.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2012). La cadena del carbón, ISBN: 978-958-8363-12-7.
- Valor, O. Sánchez, J. (2013). Compostaje de residuos agroindustriales de uva (*Vitis vinifera* L.) en condiciones tropicales. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Centro de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico. No. 31. Pg: 19-25.
- Vandevender, J.C. and Sencindiver, J.C. (1982). The Effects of Three Forms of Nitrogen Fertilizer, Phosphorus and Hidrated Lime on Abandoned Mine Land Reclamation. In: 1982' Symposium on Surface Mining Hydrology, Sedimentology and Reclamation. Univ. Kentucky, Lexington, KY. pp. 497-502.
- Weiler, J., Firpo, B., & Schneider, I. (2017). Coal waste derived soil-like substrate: An opportunity for coal waste a sustainable mineral scenario. Universidade federal do Río Grande do Sul.
- Zhengfu, B., Frank, O., & Sue, S. (2010). "Environmental issues from coal mining and their solutions," Min. Sci. Technol., vol. 20, no. 2, pp. 215–223.

7. ANEXOS


Anexo 1. Análisis de laboratorio para las 9 muestras primer ciclo.


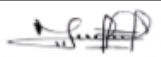
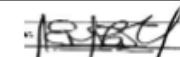
LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS		MUESTRA		ORIGINAL	X	CLIENTE										CONSECUTIVO					
IDENTIFICACION		T-1A		COPIA		PROPIETARIO		DANIELA JIMENEZ MORALES								SOLICITANTE		DANIELA JIMENEZ MORALES		19 - 021	
CODIGO DE RECEPCION		250119S-II				DEPARTAMENTO		CÓRDOBA		MUNICIPIO		PTO LIBERTADOR				DIRECCION/EMAIL		Calle 15 No 19-104 B/ Cartagena // alecto_06@hotmail.com			
FECHA DE EMISION		14/02/2019														CORREGIMIENTO		VEREDA			
																FINCA		LA PALMA			
PARAMETROS	OTROS PARAMETROS				CATIONES FASE CAMBIABLES					CICE	ELEMENTOS MENORES					CLASE TEXTURAL	METODOS DE ANALISIS				LIMITE DETECCION
	pH	C.O	S	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺		Cu	Fe	Zn	Mn	B		PARAMETRO	EXTRACCION	CUANTIFICACION	DOCUMENTO NORMATIVO	
UNIDADES	1:1	%	mg kg ⁻¹		cmolc kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					ARENA					
RESULTADOS	8,19	6,54	171,8	881,5	7,1	6,3	5,10	1,48	Na	20,0	4,9	51,9	8,3	8,9	0,44	NA					
REALIZADO	06/02/2019	11/02/2019	11/02/2019	07/02/2019	11/02/2019					08/02/2019	11/02/2019	08/02/2019				12/02/2019	ARCILLA				
BAJO	Na	<1,1	<10	<15	<3,0	<1,5	<0,2	---	---	<5,0	<1,0	<20	<2	<10	<0,3	NA					
MEDIO	Na	1,2 - 2,3	10 - 15	15 - 25	3,0 - 5,0	1,5 - 2,5	0,2 - 0,3	---	---	5,0 - 10,0	1,0 - 2,0	20 - 50	2,0 - 3,0	10 - 15	0,3 - 0,4	NA					
IDEAL	Na	2,4 - 2,5	15 - 20	25 - 40	5,0 - 10,0	2,5 - 3,0	0,3 - 0,4	<1,0	<1,0	15 - 20	2,0 - 3,0	50 - 100	3,0 - 4,0	15 - 20	0,4 - 0,6	NA					
ALTO	Na	>2,5	>20	>40	>10	>3,0	>0,4	>1,0	>1,0	>20	>3,0	>100	>4,0	>20	>0,6	LIMO					
RELACIONES DE CATIONES					SATURACION DE CATIONES					CONVENCIONES GENERALES DE REFERENCIA					NA						
RELACIONES	Ca ²⁺ /Mg ²⁺	Ca ²⁺ /K ⁺	Mg ²⁺ /K ⁺	(Ca ²⁺ + Mg ²⁺)/K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	No detectable	No analizada	Muestra insuficiente	No aplica				NA					
UNIDADES	---				%				ND	NA	MI	Na				NA					
RESULTADOS	1,1	1,4	1,2	2,6	35,5	31,5	25,5	7,4	UNIDADES				mg kg ⁻¹ , mg L ⁻¹ = ppm	cmolc kg ⁻¹ = molc/100 g de suelo	0,5 m ⁻¹ = mmhos cm ⁻¹						
DEFICIENTE	---	---	---	---	<50	<10	<3,0	---	pH en agua	3,5 - 4,5 - Extremadamente ácido			6,1 - 6,5 - Ligero ácido - 6,6 - 7,3 - Neutro			JAIME LUIS MERCADO LAZARO, Geo, MSc. Ciencias Agronómicas			ENRIQUE MIGUEL COMBATT CASALLERO, I.A, Ph. D. Ciencias del Suelo		
MEDIO	---	---	---	---	50 - 60	10 - 15	3,0 - 4,0	5,0 - 7,0		4,5 - 5,0 - Muy fuertemente ácido			7,4 - 7,5 - Ligero ácido alcalino 7,6 - 8,4 - Moderadamente alcalino			OBSERVACIONES					
IDEAL	3 - 6	15 - 30	8 - 10	20 - 40	60 - 70	15 - 20	4,0 - 5,0	<5,0		5,1 - 5,3 - Fuertemente ácido			8,3 - 9,0 - Fuertemente alcalino - > 9,0 Extremadamente alcalino			* El laboratorio no se hace responsable por los datos o por errores que pueden originarse por el uso inadecuado de los resultados en el presente informe.					
EXCESO	---	---	---	---	>70	>20	>5,0	>15,0		5,5 - 6,0 - Moderadamente ácido			Materia orgánica = C.O*1,724			Fuente de interpretación (Adaptado de Gómez, 2005)					

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS		MUESTRA		ORIGINAL		X		CLIENTE											CONSECUTIVO														
		IDENTIFICACION		T-3A		PROPIETARIO		DANIELA JIMENEZ MORALES					SOLICITANTE		DANIELA JIMENEZ MORALES					19 - 023													
		CODIGO DE RECEPCION		250119S-3I		DEPARTAMENTO		CÓRDOBA		MUNICIPIO		PTO LIBERTADOR		DIRECCION/EMAIL		Calle 15 No 19-104 B/ Cartagena //alecto_06@hotmail.com																	
		FECHA DE EMISION		14/02/2019										CORREGIMIENTO		---		VEREDA		LA PALMA													
											CLASE	METODOS DE ANALISIS					LIMITE																
											TEXTURAL	PARAMETRO	EXTRACCION	CUANTIFICACION	DOCUMENTO NORMATIVO	DETECCION																	
PARAMETROS											pH	C.O	S	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CICE	Cu	Fe	Zn	Mn	B	%							
UNIDADES											1:1	%	mg kg ⁻¹		cmole kg ⁻¹					mg kg ⁻¹					ARENA	pH	Suelo-Agua (s/v) 1:1	Potenciométrico	NTC - 5254.	---			
RESULTADOS											8,78	0,38	154,8		96,3		3,8	3,9	0,39	1,21	Na	9,3	3,1	29,0	3,4	0,9	0,20	NA	C.O	Wetley - Baco	Turbidimétrico	NTC - 5403.	0,07%
																									S	Sedimento monodisperso	Turbidimétrico	NTC - 5403.	0,12 mg/kg				
																									P	Bray II / Olsen	UV - VIS	NTC - 5350.	0,05 mg/kg				
REALIZADO											06/02/2019	11/02/2019	11/02/2019	07/02/2019	11/02/2019					06/02/2019	11/02/2019	06/02/2019					12/02/2019	K ⁺	Acetato de amonio 1:0 H pH 7,0	Spectroscopía de emisión atómica	NTC - 5249.	0,01 cmole kg ⁻¹	
BAJO											Na	<1,1	<10		<15		<3,0	<1,5	<0,2	---	---	<5,0	<1,0	<20	<2	<10	<0,3	ARCILLA	Na ⁺	Conductimétrico	0,02 cmole kg ⁻¹		
MEDIO											Na	1,2 - 2,3	10 - 15		15 - 25		3,0 - 5,0	1,5 - 2,5	0,2 - 0,3	---	---	5,0 - 10,0	1,0 - 2,0	20 - 50	2,0 - 3,0	10 - 15	0,3 - 0,4	NA	CICE	Spectroscopía de emisión atómica	0,02 cmole kg ⁻¹		
IDEAL											Na	2,4 - 2,5	15 - 20		25 - 40		5,0 - 10,0	2,5 - 3,0	0,3 - 0,4	<1,0	<1,0	15 - 20	2,0 - 3,0	50 - 100	3,0 - 4,0	15 - 20	0,4 - 0,6	NA	Al ³⁺ + H ⁺	NCl 1:0 H	Titulométrico	0,10 cmole kg ⁻¹	
ALTO											Na	>2,5	>20		>40		>10	>3,0	>0,4	>1,0	>1,0	>20	>3,0	>100	>4,0	>20	>0,6	LIMO	Cu - Zn	OTPA	Spectroscopía de emisión atómica	NTC - 5253.	Cu : 0,4 mg/kg Zn : 0,3 mg/kg
RELACIONES DE CATIONES											Ca ²⁺ /Mg ²⁺	Ca ²⁺ /K ⁺	Mg ²⁺ /K ⁺	(Ca ²⁺ + Mg ²⁺)/K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	No detectable	No analizada	Muestra insuficiente	No aplica	NA	Fe - Mn	Agu caliente	Colorimétrico	NTC - 5404.	0,10 mg/kg					
UNIDADES											---	---	---		---		ND	NA	M1	Na	C. TEXTURAL	NA	Sonotecn/Hidrometro	IGAC 5ª Edición - 2005	---								
RESULTADOS											1,0	9,7	10,0		19,7		40,9	41,9	4,2	13	UNIDADES	mg kg ⁻¹ ; mg L ⁻¹ = ppm	cmole kg ⁻¹ = mola/100 g de suelo	ds m ⁻¹ = mmhos cm ⁻¹		JAIME LUIS MERCADO LAZARO.	Qco, MSc. Ciencias Agronómicas	ENRIQUE MIGUEL COMSATT CABALLERO.	I.A, Ph. D. Ciencias del Suelo				
DEFICIENTE											---	---	---		---		<50	<10	<3,0	---	pH en agua	3,5 - 4,5 - Extremadamente ácido	5,1 - 6,5 - Ligero ácido - 6,6 - 7,5 - Neutro										
MEDIO											---	---	---		---		50 - 60	10 - 15	3,0 - 4,0	5,0 - 7,0		4,5 - 5,0 - Muy fuertemente ácido	7,4 - 7,8 - Ligero alcalino 7,9 - 8,4 - Moderadamente alcalino										
IDEAL											3 - 6	15 - 30	8 - 10		20 - 40		60 - 70	15 - 20	4,0 - 5,0	<5,0		5,1 - 5,5 - Fuertemente ácido	8,5 - 9,0 - Fuertemente alcalino - > 9,0 Extremadamente alcalino										
EXCESO											---	---	---		---		>70	>20	>5,0	>15,0		5,6 - 6,0 - Moderadamente ácido	Materia orgánica = C.O*1,724	Fuente de interpretación (Adepede de Gómez, 2005)									

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS		MUESTRA			ORIGINAL		X		CLIENTE											CONSECUTIVO						
		IDENTIFICACION		T-2B			PROPIETARIO		DANIELA JÍMEZ MORALES						SOLICITANTE		DANIELA JÍMEZ MORALES		19 - 025							
		CODIGO DE RECEPCION		250119S-SI			DEPARTAMENTO		CÓRDOBA		MUNICIPIO		PTO LIBERTADOR		DIRECCION/EMAIL		Calle 15 No 19-104 B/ Cartagena // alecto_06@hotmail.com									
		FECHA DE EMISION		14/02/2019											CORREGIMIENTO		---		VEREDA		LA PALMA					
PARAMETROS		OTROS PARAMETROS				CATIONES FASE CAMBIABLES					CICE		ELEMENTOS MENORES					CLASE TEXTURAL		MÉTODOS DE ANALISIS					LÍMITE DETECCIÓN	
		pH	C.O	S	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺		Cu	Fe	Zn	Mn	B		PARAMETRO	EXTRACCION	CUANTIFICACION	DOCUMENTO NORMATIVO					
UNIDADES		1:1	%	mg kg ⁻¹		cmolc kg ⁻¹							mg kg ⁻¹					ARENA		pH	Resol-Agua (pH) 1:1	Potenciométrico	NTC - 5264	---		
																		C.O	Winkley - Black	Titulométrico	NTC - 5402	0,07%				
																		S	Resol-Agua (pH) 1:1	Turbidimétrico	NTC - 5402	0,12 mg/kg				
																		P	Bray II / Olsen	UV - VIS	NTC - 5352	0,25 mg/kg				
RESULTADOS		8,25	3,49	300,1	175,9	7,7	5,0	2,14	1,84	Na	16,7	4,3	50,3	4,1	2,5	0,22		NA	Ca ²⁺	Espectroscopía de absorción atómica	NTC - 5249	0,02 cmolc kg ⁻¹				
																	Mg ²⁺					0,01 cmolc kg ⁻¹				
REALIZADO		06/02/2019	11/02/2019	11/02/2019	07/02/2019	11/02/2019					08/02/2019	11/02/2019	08/02/2019					12/02/2019	ARCILLA	K ⁺		Acetato de amonio 1:0 H pH 7,0	Espectroscopía de emisión atómica	0,01 cmolc kg ⁻¹		
BAJO		Na	<1,1	<10	<15	<3,0	<1,5	<0,2	---	---	<5,0	<1,0	<20	<2	<10	<0,3		Na ⁺						0,02 cmolc kg ⁻¹		
MEDIO		Na	1,2 - 2,3	10 - 15	15 - 25	3,0 - 5,0	1,5 - 2,5	0,2 - 0,3	---	---	5,0 - 10,0	1,0 - 2,0	20 - 50	2,0 - 3,0	10 - 15	0,3 - 0,4		NA	CICE	Conductimétrico		---				
IDEAL		Na	2,4 - 2,5	15 - 20	25 - 40	5,0 - 10,0	2,5 - 3,0	0,3 - 0,4	<1,0	<1,0	15 - 20	2,0 - 3,0	50 - 100	3,0 - 4,0	15 - 20	0,4 - 0,6		Al ³⁺ + H ⁺	KCl 1:0 H			Titulométrico	0,02 cmolc kg ⁻¹			
ALTO		Na	>2,5	>20	>40	>10	>3,0	>0,4	>1,0	>1,0	>20	>3,0	>100	>4,0	>20	>0,6		LIMO	Cu - Zn	OTPA	Espectroscopía de absorción atómica	NTC - 5262	Cu: 0,4 mg/kg Zn: 0,3 mg/kg			
																		Fe - Mn			NTC - 5226	Fe: 1,0 mg/kg Mn: 0,4 mg/kg				
																		B	Agua caliente	Colorimétrico	NTC - 5404	0,10 mg/kg				
RELACIONES		Ca ²⁺ /Mg ²⁺	Ca ²⁺ /K ⁺	Mg ²⁺ /K ⁺	(Ca ²⁺ +Mg ²⁺)/K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	No detectable	No analizada	Muestra insuficiente	No aplica					C. TEXTURAL	NA	Soilscopio/Hidrometro	25AC 8ª Edición - 2005	---				
UNIDADES		---				%				ND		NA		MI		Ne		COORDINADOR TECNICO DEL LABORATORIO					DIRECTOR			
RESULTADOS		1,5	3,6	2,3	5,9	46,1	29,9	12,8	11	UNIDADES	mg kg ⁻¹ , mg L ⁻¹ = ppm		cmolc kg ⁻¹ = meq/100 g de suelo		0,5 m ² = mmhos cm ⁻¹											
DEFICIENTE		---	---	---	---	<50	<10	<3,0	---	pH en agua	3,5 - 4,5 - Extremadamente ácido		5,1 - 6,5 - Ligero ácido - 6,6 - 7,5 - Neutro		JAI ME LUIS MERCADO LAZARO. Qco, MSc. Ciencias Agronómicas					ENRIQUE MIGUEL COMBATT CABALLERO. I.A. Ph. D. Ciencias del Suelo						
MEDIO		---	---	---	---	50 - 60	10 - 15	3,0 - 4,0	5,0 - 7,0		4,5 - 5,0 - Muy fuertemente ácido		7,4 - 7,5 - Ligero alcalino - 7,6 - 8,4 - Moderadamente alcalino		OBSERVACIONES											
IDEAL		3 - 6	15 - 30	8 - 10	20 - 40	60 - 70	15 - 20	4,0 - 5,0	<5,0		5,1 - 5,5 - Fuertemente ácido		8,5 - 9,0 - Fuertemente alcalino - > 9,0 Extremadamente alcalino		* El laboratorio no se hace responsable por los daños o perjuicios que puedan originarse por el uso inadecuado de los resultados en el presente informe.											
EXCESO		---	---	---	---	>70	>20	>5,0	>15,0		5,6 - 6,0 - Moderadamente ácido		Materia orgánica = C.O*1,724		Fuente de interpretación (Adepto de Gómez, 2005)		* Los resultados contenidos en el presente informe sólo son representativos de la muestra analizada. * El presente informe no puede ser reproducido total ni parcialmente sin el previo consentimiento del LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS.									


LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS		MUESTRA		ORIGINAL	X	CLIENTE															CONSECUTIVO	
IDENTIFICACION		T-3B		PROPIETARIO		DANIELA JIMENEZ MORALES										SOLICITANTE		DANIELA JIMENEZ MORALES		19 - 026		
CODIGO DE RECEPCION		250119S-6I		DEPARTAMENTO		CÓRDOBA		MUNICIPIO		PTO LIBERTADOR		CORREGIMIENTO		VEREDA								
FECHA DE EMISION		14/02/2019										FINCA		LA PALMA								
PARAMETROS		OTROS PARAMETROS				CATIONES FASE CAMBIABLES					CICE	ELEMENTOS MENORES					CLASE TEXTURAL	METODOS DE ANALISIS				LIMITE
		pH	C.O	S	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺		Cu	Fe	Zn	Mn	B	%	PARAMETRO	EXTRACCION	CUANTIFICACION	DOCUMENTO NORMATIVO	DETECCION
UNIDADES	1:1	%	mg kg ⁻¹				cmolc kg ⁻¹					mg kg ⁻¹					ARENA					
RESULTADOS	8,70	0,36	294,1	91,2	3,5	3,7	0,30	1,68	Na	9,2	3,2	30,0	3,3	0,9	0,18	NA						
REALIZADO	06/02/2019	11/02/2019	11/02/2019	07/02/2019	11/02/2019					08/02/2019	11/02/2019	08/02/2019					12/02/2019	ARCILLA				
BAJO	Na	<1,1	<10	<15	<3,0	<1,5	<0,2	---	---	<5,0	<1,0	<20	<2	<10	<0,3	NA						
MEIO	Na	1,2 - 2,3	10 - 15	15 - 25	3,0 - 5,0	1,5 - 2,5	0,2 - 0,3	---	---	5,0 - 10,0	1,0 - 2,0	20 - 50	2,0 - 3,0	10 - 15	0,3 - 0,4	NA						
IDEAL	Na	2,4 - 2,5	15 - 20	25 - 40	5,0 - 10,0	2,5 - 3,0	0,3 - 0,4	<1,0	<1,0	15 - 20	2,0 - 3,0	50 - 100	3,0 - 4,0	15 - 20	0,4 - 0,6	NA						
ALTO	Na	>2,5	>20	>40	>10	>3,0	>0,4	>1,0	>1,0	>20	>3,0	>100	>4,0	>20	>0,6	LIMO						
RELACIONES DE CATIONES					SATURACION DE CATIONES					CONVENCIONES GENERALES DE REFERENCIA					NA							
RELACIONES	Ca ²⁺ /Mg ²⁺	Ca ²⁺ /K ⁺	Mg ²⁺ /K ⁺	(Ca ²⁺ + Mg ²⁺)/K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	No detectable	No analizada	Muestra insuficiente	No aplica	NA									
UNIDADES	---				%				ND	NA	MI	Na	NA									
RESULTADOS	0,9	11,7	12,3	24,0	38	40,2	3,3	18,3	UNIDADES				mg kg ⁻¹ , mg L ⁻¹ = ppm	cmolc kg ⁻¹ = meq/100 g de suelo	ds m ⁻¹ = mmhos cm ⁻¹							
DEFICIENTE	---	---	---	---	<50	<10	<3,0	---	pH en agua				3,5 - 4,5 - Extremadamente ácido		5,1 - 6,5 - Ligero ácido - 6,6 - 7,3 - Neutro		JAIME LUIS MERCADO LAZARO. Qco, MSc. Ciencias Agronómicas				ENRIQUE MIGUEL COMBATT CABALLERO. I.A. Ph. D. Ciencias del Suelo	
MEIO	---	---	---	---	50 - 60	10 - 15	3,0 - 4,0	5,0 - 7,0					4,5 - 5,0 - Muy fuertemente ácido		7,4 - 7,5 - Ligero alcalino 7,6 - 8,4 - Moderadamente alcalino		OBSERVACIONES					
IDEAL	3 - 6	15 - 30	8 - 10	20 - 40	60 - 70	15 - 20	4,0 - 5,0	<5,0					5,1 - 5,3 - Fuertemente ácido		5,5 - 9,0 - Fuertemente alcalino - > 9,0 Extremadamente alcalino		* Consulte a un Ingeniero Agrónomo o profesional del área de suelos.					
EXCESO	---	---	---	---	>70	>20	>5,0	>15,0					5,5 - 6,0 - Moderadamente ácido		Materia orgánica = C.O*1,724		Fuente de interpretación (Adequado de Gómez, 2009)		* El laboratorio no se hace responsable por los daños o perjuicios que puedan originarse por el uso inadecuado de los resultados en el presente informe.			
																	* Los resultados contenidos en el presente informe sólo son representativos de la muestra analizada. * El presente informe no puede ser reproducido total ni parcialmente en el formato escrito del LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS.					

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS		MUESTRA		ORIGINAL		X		CLIENTE											CONSECUTIVO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
		IDENTIFICACION		T-1C		PROPIETARIO		DANIELA JÍMEZ MORALES								SOLICITANTE		DANIELA JÍMEZ MORALES		19 - 027																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
		CODIGO DE RECEPCION		250119S-7I		DEPARTAMENTO		CÓRDOBA		MUNICIPIO		PTO LIBERTADOR				DIRECCION/EMAIL		Calle 15 No 19-104 B/ Cartagena / jalecto_06@hotmail.com																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
		FECHA DE EMISION		14/02/2019												CORREGIMIENTO		VEREDA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
																FINCA		MINA LA PRIMAVERA		LA PALMA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
															METODOS DE ANALISIS					LIMITE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
															CLASE TEXTURAL		PARAMETRO		EXTRACCION		CUANTIFICACION		DOCUMENTO NORMATIVO		DETECCION																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
PARAMETROS															pH		C.O		S		P		Ca ²⁺		Mg ²⁺		K ⁺		Na ⁺		Al ³⁺ + H ⁺		CICE		Cu		Fe		Zn		Mn		B		%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
UNIDADES															1:1		%		mg kg ⁻¹		cmole kg ⁻¹		mg kg ⁻¹		ARENA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
RESULTADOS															8,18		5,73		312,0		1107,6		8,2		6,6		5,48		1,72		Na		22,0		5,0		39,7		8,9		5,9		0,53		NA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										</	

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS		MUESTRA			ORIGINAL		X		CLIENTE										CONSECUTIVO							
		IDENTIFICACION		T-2C		PROPIETARIO		DANIELA JÍMEZ MORALES								SOLICITANTE		DANIELA JÍMEZ MORALES		19 - 028						
		CODIGO DE RECEPCION		250119S-8I		DEPARTAMENTO		CÓRDOBA		MUNICIPIO		PTO LIBERTADOR				DIRECCION/EMAIL		Calle 15 No 19-104 B/ Cartagena //alecto_06@hotmail.com								
		FECHA DE EMISION		14/02/2019												CORREGIMIENTO		VEREDA								
																FINCA		MINA LA PRIMAVERA		LA PALMA						
															CLASE		METODOS DE ANALISIS					LIMITE				
															TEXTURAL		PARAMETRO		EXTRACCION		CUANTIFICACION		DOCUMENTO NORMATIVO		DETECCION	
															%		pH		Suelto-Agua (s/v) 1:1		Potenciométrico		NTC - 5264		---	
																	C.O		Wadley - Black		Titulométrico		NTC - 5433		0,07%	
															ARENA		S		Porfeto monocedido		Turbidimétrico		NTC - 5403		0,12 mg/kg	
																	p		Gray II / Clean		UV - VIS		NTC - 5250		0,35 mg/kg	
RESULTADOS		8,32	1,72	333,5	233,3	8,2	5,2	2,33	2,07	Na	17,8	4,4	47,9	4,3	2,7	0,28	NA		Ca ²⁺	Espectroscopia de absorción atómica	NTC - 5249	0,03 cmolc kg ⁻¹				
																	Mg ²⁺	0,01 cmolc kg ⁻¹								
REALIZADO		06/02/2019	11/02/2019	11/02/2019	07/02/2019	11/02/2019				08/02/2019	11/02/2019	08/02/2019				12/02/2019	ARCILLA		K ⁺	Acetato de amonio 1,0 M pH 7,0		Espectroscopia de emisión atómica	0,01 cmolc kg ⁻¹			
BAJO		Na	<1,1	<10	<15	<3,0	<1,5	<0,2	---	---	<5,0	<1,0	<20	<2	<10	<0,3	NA		Na ⁺	Conductivimétrico			0,03 cmolc kg ⁻¹			
MEDIO		Na	1,2 - 2,3	10 - 15	15 - 25	3,0 - 5,0	1,5 - 2,5	0,2 - 0,3	---	---	5,0 - 10,0	1,0 - 2,0	20 - 50	2,0 - 3,0	10 - 15	0,3 - 0,4			CICE			---				
IDEAL		Na	2,4 - 2,5	15 - 20	25 - 40	5,0 - 10,0	2,5 - 3,0	0,3 - 0,4	<1,0	<1,0	15 - 20	2,0 - 3,0	50 - 100	3,0 - 4,0	15 - 20	0,4 - 0,6			Al ³⁺ + H ⁺	KCl 1,0 M	Titulométrico	0,09 cmolc kg ⁻¹				
ALTO		Na	>2,5	>20	>40	>10	>3,0	>0,4	>1,0	>1,0	>20	>3,0	>100	>4,0	>20	>0,6	LIMO		Cu - Zn	OTPA	Espectroscopia de absorción atómica	NTC - 5262	Cu: 0,4 mg/kg Zn: 0,3 mg/kg			
																			Fe - Mn			NTC - 5265	Fe: 2,5 mg/kg Mn: 5,4 mg/kg			
																			S	Aguá caliente	Colorimétrico	NTC - 5404	0,10 mg/kg			
																	NA		C. TEXTURAL	NA	Souppace/Hidrómetro	ISAC 5ª Edición - 2005	---			
															COORDINADOR TECNICO DEL LABORATORIO					DIRECTOR						
																										
RESULTADOS		1,6	3,5	2,2	5,8	46,1	29,2	13,1	11,6	UNIDADES		mg kg ⁻¹ , mg L ⁻¹ = ppm		cmolc kg ⁻¹ = meq/100 g de suelo		ds m ⁻¹ = mmhos cm ⁻¹										
DEFICIENTE		---	---	---	---	<50	<10	<3,0	---	pH en agua			3,5 - 4,5 - Extremadamente ácido		6,1 - 6,5 - Ligero ácido - 6,6 - 7,3 - Neutro		JAIME LUIS MERCADO LAZARO. Qco, MSc. Ciencias Agronómicas					ENRIQUE MIGUEL COMBATT CABALLERO. I.A, Ph. D. Ciencias del Suelo				
MEDIO		---	---	---	---	50 - 60	10 - 15	3,0 - 4,0	5,0 - 7,0				4,5 - 5,0 - Muy fuertemente ácido		7,4 - 7,8 - Ligero alcalino 7,9 - 8,4 - Moderadamente alcalino		OBSERVACIONES									
IDEAL		3 - 6	15 - 30	8 - 10	20 - 40	60 - 70	15 - 20	4,0 - 5,0	<5,0				5,1 - 5,5 - Fuertemente ácido		8,5 - 9,0 - Fuertemente alcalino - > 9,0 Extremadamente alcalino		* Consulte a un Ingeniero Agrónomo o profesional del área de suelos. *El laboratorio no se hace responsable por los defectos o perjuicios que pueden originarse por el uso inadecuado de los resultados en el presente informe.									
EXCESO		---	---	---	---	>70	>20	>5,0	>15,0				5,6 - 6,0 - Moderadamente ácido		Materia orgánica = C.O*1,724		Fuente de interpretación (Adequado de Gómez, 2005)		* Los resultados contenidos en el presente informe sólo son representativos de la muestra analizada. * El presente informe no puede ser reproducido total ni parcialmente sin el permiso escrito del LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS.							

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS		MUESTRA				CLIENTE										CONSECUTIVO			
		IDENTIFICACION		T-3C		PROPIETARIO		DANIELA JÍMEZ MORALES								19 - 029			
		CODIGO DE RECEPCION		250119S-9I		DEPARTAMENTO		CÓRDOBA		MUNICIPIO		PTO LIBERTADOR		SOLICITANTE		DANIELA JÍMEZ MORALES			
		FECHA DE EMISION		14/02/2019										DIRECCION/EMAIL		Calle 15 No 19-104 B/ Cartagena //alecto_06@hotmail.com			
														CORREGIMIENTO		VEREDA			
														FINCA		MINA LA PRIMAVERA		LA PALMA	

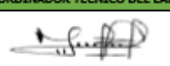
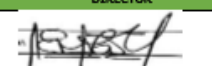
Anexo 2. Análisis de laboratorio para las 9 muestras segundo ciclo


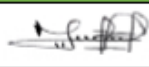
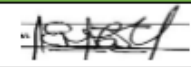
LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS		MUESTRA			ORIGINAL	X	CLIENTE										CONSECUTIVO								
		IDENTIFICACION			T-2A			PROPIETARIO			DANIELA JÍMEZ MORALES							SOLICITANTE		DANIELA JÍMEZ MORALES			19 - 419		
		CODIGO DE RECEPCION			230419S-3I			DEPARTAMENTO			CÓRDOBA			MUNICIPIO			PTO LIBERTADOR			DIRECCION/EMAIL		Calle 15 No 19-104 B/ Cartagena //alecto_06@hotmail.com			
		FECHA DE EMISION			06/06/2019															FINCA		MINA LA PRIMAVERA		VEREDA	
		OTROS PARAMETROS				CATIONES FASE CAMBIABLES							ELEMENTOS MENORES					CLASE	MÉTODOS DE ANÁLISIS				LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN DEL MÉTODO		
PARAMETROS		pH	C.O	S	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CICE	Cu	Fe	Zn	Mn	B	%	PARAMETRO	EXTRACCION	CUANTIFICACION	DOCUMENTO NORMATIVO				
UNIDADES		1:1	%	mg kg ⁻¹			cmolc kg ⁻¹					mg kg ⁻¹					ARENA		pH	Suelo-Agua (pH) 1:1	Potenciométrico	NTC - 5254.	---		
																			Wetley - Basic	Titrimétrico	NTC - 5403.	---			
																			3	Potasio monocálcico	Turbidimétrico	NTC - 5402.	---		
																			p	Gray II / Clean	UV - VIS	NTC - 5350.	---		
RESULTADOS		7,81	2,39	18,1	207,2	10,0	4,6	1,36	0,23	Na	16,2	5,8	89,4	3,2	8,5	0,14	NA	Ca ²⁺		Espectroscopía de absorción atómica	NTC - 5349.	0,1 cmolc kg ⁻¹			
																	Mg ²⁺	0,0 cmolc kg ⁻¹							
REALIZADO		28/05/2019	30/05/2019	28/05/2019	28/06/2019	30/05/2019					30/05/2019	30/05/2019	31/05/2019					30/05/2019	ARCILLA	Acetato de amonio 1:0 H pH 7,0	Espectroscopía de emisión atómica		0,03 cmolc kg ⁻¹		
BAJO		Na	<1,1	<10	<15	<3,0	<1,5	<0,2	---	---	<5,0	<1,0	<20	<2	<10	<0,3	NA	Na ⁺					0,04 cmolc kg ⁻¹		
MEDIO		Na	1,2 - 2,3	10 - 15	15 - 25	3,0 - 5,0	1,5 - 2,5	0,2 - 0,3	---	---	5,0 - 10,0	1,0 - 2,0	20 - 50	2,0 - 3,0	10 - 15	0,3 - 0,4	NA	CICE	Conductimétrico		---				
IDEAL		Na	2,4 - 2,5	15 - 20	25 - 40	5,0 - 10,0	2,5 - 3,0	0,3 - 0,4	<1,0	<1,0	15 - 20	2,0 - 3,0	50 - 100	3,0 - 4,0	15 - 20	0,4 - 0,6	NA	Al ³⁺ + H ⁺	KCl 1:0 H	Titrimétrico		---			
ALTO		Na	>2,5	>20	>40	>10	>3,0	>0,4	>1,0	>1,0	>20	>3,0	>100	>4,0	>20	>0,6	LIMO	Cu - Zn	OTPA	Espectroscopía de absorción atómica	NTC - 5363.	Cu : 0,40 mg/kg Zn : 0,20 mg/kg			
		RELACIONES DE CATIONES				SATURACION DE CATIONES				CONVENCIONES GENERALES DE REFERENCIA								NA	S	Agua caliente	Coulométrico	NTC - 5404.	---		
RELACIONES		Ca ²⁺ /Mg ²⁺	Ca ²⁺ /K ⁺	Mg ²⁺ /K ⁺	(Ca ²⁺ + Mg ²⁺)/K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	No detectable	No analizada	Muestra insuficiente	No aplica												
UNIDADES		---				%				ND	NA	MI	Ne	NA	C. TEXTURAL	NA	Bouyoucos/Hidrometro	ISOAC 6ª Edición - 2005	---						
RESULTADOS		2,2	7,4	3,4	10,7	61,7	28,4	8,4	1,4	UNIDADES	mg kg ⁻¹ , mg L ⁻¹ = ppm		cmolc kg ⁻¹ = mol/100 g de suelo							ds m ⁻² = mmhza cm ⁻²					
DEFICIENTE		---	---	---	---	<50	<10	<3,0	---	pH en agua	3,5 - 4,5 - Extremadamente ácido			6,1 - 6,5 - Ligero ácido - 6,6 - 7,3 - Neutro			JAIRIS LUIS MERCADO LAZARO, Qes, MSc. Ciencias Agronómicas		ENRIQUE MIGUEL COMBATT CASALLERO, I.A, Ph. D. Ciencias del Suelo						
MEDIO		---	---	---	---	50 - 60	10 - 15	3,0 - 4,0	5,0 - 7,0		4,5 - 5,0 - Muy fuertemente ácido			7,4 - 7,8 - Ligero ácido - 7,9 - 8,4 - Moderadamente ácido			OBSERVACIONES								
IDEAL		3 - 6	15 - 30	8 - 10	20 - 40	60 - 70	15 - 20	4,0 - 5,0	<5,0		5,1 - 5,5 - Fuertemente ácido			6,5 - 9,0 - Fuertemente ácido - > 9,0 Extremadamente ácido			* El laboratorio no se hace responsable por los daños o perjuicios que pueden originarse por el uso inadecuado de los resultados en el presente informe. * Los resultados contenidos en el presente informe sólo son representativos de la muestra analizada. * El presente informe no puede ser reproducido total ni parcialmente sin el previo consentimiento del LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS.								
EXCESO		---	---	---	---	>70	>20	>5,0	>15,0		5,6 - 6,0 - Moderadamente ácido			Materia orgánica = C.O*1,724					Fuente de Interpretación (Adeptado de Gómez, 2009)						


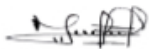
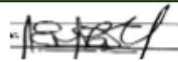
LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS		MUESTRA		ORIGINAL		X		CLIENTE										CONSECUTIVO			
IDENTIFICACION		T-3A		PROPIETARIO		DANIELA JIMENEZ MORALES										SOLICITANTE		DANIELA JIMENEZ MORALES			
CODIGO DE RECEPCION		230419S-4I		DEPARTAMENTO		CÓRDOBA		MUNICIPIO		PTO LIBERTADOR		DIRECCION/EMAIL		Calle 15 No 19-104 B/ Cartagena //alecto_06@hotmail.com		19 - 420					
FECHA DE EMISION		06/06/2019										CORREGIMIENTO		FINCA		VEREDA					
														MINA LA PRIMAVERA		LA PALMA					
PARAMETROS	OTROS PARAMETROS				CATIONES FASE CAMBIABLES					CICE	ELEMENTOS MENORES					CLASE TEXTURAL	METODOS DE ANALISIS				LIMITE DE CUANTIFICACION DEL METODO
	pH	C.O	S	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺		Cu	Fe	Zn	Mn	B		PARAMETRO	EXTRACCION	CUANTIFICACION	DOCUMENTO NORMATIVO	
UNIDADES	1:1	%	mg kg ⁻¹		cmolc kg ⁻¹					mg kg ⁻¹						ARENA					
RESULTADOS	8,42	0,98	15,2	106,1	4,1	3,9	0,32	0,31	Na	8,6	2,8	24,1	2,7	1,2	0,09	NA					
REALIZADO	28/05/2019	30/05/2019	28/05/2019	28/06/2019	30/05/2019					30/05/2019	31/05/2019					30/05/2019	ARCILLA				
BAJO	Na	<1,1	<10	<15	<3,0	<1,5	<0,2	---	---	<5,0	<1,0	<20	<2	<10	<0,3	NA					
MECIO	Na	1,2 - 2,3	10 - 15	15 - 25	3,0 - 5,0	1,5 - 2,5	0,2 - 0,3	---	---	5,0 - 10,0	1,0 - 2,0	20 - 50	2,0 - 3,0	10 - 15	0,3 - 0,4	NA					
IDEAL	Na	2,4 - 2,5	15 - 20	25 - 40	5,0 - 10,0	2,5 - 3,0	0,3 - 0,4	<1,0	<1,0	15 - 20	2,0 - 3,0	50 - 100	3,0 - 4,0	15 - 20	0,4 - 0,6	NA					
ALTO	Na	>2,5	>20	>40	>10	>3,0	>0,4	>1,0	>1,0	>20	>3,0	>100	>4,0	>20	>0,6	LIMO					
RELACIONES DE CATIONES					SATURACION DE CATIONES					CONVENCIONES GENERALES DE REFERENCIA											
RELACIONES	Ca ²⁺ /Mg ²⁺	Ca ²⁺ /K ⁺	Mg ²⁺ /K ⁺	(Ca ²⁺ +Mg ²⁺)/K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	No detectable	No analizada	Muestra insuficiente	No aplica									
UNIDADES	---				%				ND	NA	MI	Na									
RESULTADOS	1,1	12,8	12,2	25,0	47,7	45,3	3,7	3,6	UNIDADES				mg kg ⁻¹ , mg L ⁻¹ = ppm	cmolc kg ⁻¹ = mola/100 g de suelo	05 m ² = millos cm ²						
DEFICIENTE	---	---	---	---	<50	<10	<3,0	---	pH en agua				5,5 - 4,5 - Extremadamente ácido		5,1 - 6,5 - Ligerosamente ácido - 6,6 - 7,3 - Neutro		JAIME LUIS MERCADO LAZARO. Qce, MSc. Ciencias Agronómicas				
MECIO	---	---	---	---	50 - 60	10 - 15	3,0 - 4,0	5,0 - 7,0					4,5 - 5,0 - Muy fuertemente ácido		7,4 - 7,8 - Ligerosamente alcalino 7,9 - 8,4 - Moderadamente alcalino		ENRIQUE MIGUEL COMBATT CABALLERO. I.A, Ph. D. Ciencias del Suelo				
IDEAL	3 - 6	15 - 30	8 - 10	20 - 40	60 - 70	15 - 20	4,0 - 5,0	<5,0					5,1 - 5,5 - Fuertemente ácido		5,5 - 9,0 - Fuertemente alcalino - > 9,0 Extremadamente alcalino		OBSERVACIONES				
EXCESO	---	---	---	---	>70	>20	>5,0	>15,0					5,6 - 6,0 - Moderadamente ácido		Materia orgánica = C.O*1,724		Punto de interpretación (Adaptado de Gómez, 2009)		<p>* Consulte a un Ingeniero Agrónomo o profesional del área de suelos.</p> <p>* El laboratorio no se hace responsable por los daños o perjuicios que pueden originarse por el uso inadecuado de los resultados en el presente informe.</p> <p>* Los resultados contenidos en el presente informe sólo son representativos de la muestra analizada. * El presente informe no puede ser reproducido total ni parcialmente sin el permiso escrito del LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS.</p>		

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS		MUESTRA		ORIGINAL		X		CLIENTE										CONSECUTIVO						
IDENTIFICACION		T-18		PROPIETARIO		DANIELA JIMENEZ MORALES										SOLICITANTE		DANIELA JIMENEZ MORALES						
CODIGO DE RECEPCION		230419S-SI		DEPARTAMENTO		CÓRDOBA		MUNICIPIO		PTO LIBERTADOR		CORREGIMIENTO		FINCA		VEREDA								
FECHA DE EMISION		06/06/2019												MINA LA PRIMAVERA		LA PALMA								
PARAMETROS		OTROS PARAMETROS				CATIONES FASE CAMBIABLES					ELEMENTOS MENORES					CLASE TEXTURAL		METODOS DE ANALISIS				LIMITE DE CUANTIFICACION DEL METODO		
		pH	C.O	S	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CICE	Cu	Fe	Zn	Mn	B		PARAMETRO	EXTRACCION	CUANTIFICACION	DOCUMENTO NORMATIVO			
UNIDADES		1:1	%	mg kg ⁻¹		cmolc kg ⁻¹					mg kg ⁻¹					ARENA			pH	Suelto-Agua (2N) 1:1	Potenciométrico	NTC - 5254.	---	
																		C.O	Wadkey - Baco	Titrimétrico	NTC - 5432.	---		
																		S	Formio monoclorico	Turbidimétrico	NTC - 5432.	---		
																		P	Gray II / Clean	UV - VIS	NTC - 5251.	---		
RESULTADOS		7,79	2,91	46,9	1014,3	8,5	6,0	4,33	0,71	Na	19,5	4,8	28,7	7,1	5,3	0,75		Ca ²⁺					0,1 cmolc kg ⁻¹	
																		Mg ²⁺					0,0 cmolc kg ⁻¹	
REALIZADO		28/05/2019	30/05/2019	28/05/2019	29/06/2019	30/05/2019					30/05/2019	31/05/2019					30/05/2019		K ⁺	Acetato de amonio 1,0 N pH 7,0			0,02 cmolc kg ⁻¹	
BAJO		Na	<1,1	<10	<15	<3,0	<1,5	<0,2	---	---	<5,0	<1,0	<20	<2	<10	<0,3		Na ⁺					0,04 cmolc kg ⁻¹	
MEDIO		Na	1,2 - 2,3	10 - 15	15 - 25	3,0 - 5,0	1,5 - 2,5	0,2 - 0,3	---	---	5,0 - 10,0	1,0 - 2,0	20 - 50	2,0 - 3,0	10 - 15	0,3 - 0,4							---	
IDEAL		Na	2,4 - 2,5	15 - 20	25 - 40	5,0 - 10,0	2,5 - 3,0	0,3 - 0,4	<1,0	<1,0	15 - 20	2,0 - 3,0	50 - 100	3,0 - 4,0	15 - 20	0,4 - 0,6							---	
ALTO		Na	>2,5	>20	>40	>10	>3,0	>0,4	>1,0	>1,0	>20	>3,0	>100	>4,0	>20	>0,6							---	
RELACIONES DE CATIONES					SATURACION DE CATIONES				CONVENCIONES GENERALES DE REFERENCIA								CLASE TEXTURAL							
RELACIONES					SATURACION DE CATIONES				CONVENCIONES GENERALES DE REFERENCIA								CLASE TEXTURAL							
UNIDADES					UNIDADES				UNIDADES								CLASE TEXTURAL							
RESULTADOS					RESULTADOS				RESULTADOS								CLASE TEXTURAL							
DEFICIENTE					DEFICIENTE				DEFICIENTE								CLASE TEXTURAL							
MEDIO					MEDIO				MEDIO								CLASE TEXTURAL							
IDEAL					IDEAL				IDEAL								CLASE TEXTURAL							
EXCESO					EXCESO				EXCESO								CLASE TEXTURAL							

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS		MUESTRA		ORIGINAL	X	CLIENTE										CONSECUTIVO							
IDENTIFICACION		T-2B		COPIA		---		DANIELA JIMENEZ MORALES										19 - 422					
CODIGO DE RECEPCION		230419S-61		PROPIETARIO		DIRECCION/EMAIL										19 - 422							
FECHA DE EMISION		06/06/2019		DEPARTAMENTO		CÓRDOBA		MUNICIPIO		PTO LIBERTADOR		CORREGIMIENTO		VEREDA									
												FINCA		LA PALMA									
PARAMETROS	OTROS PARAMETROS				CATIONES FASE CAMBIABLES				CICE	ELEMENTOS MENORES					CLASE TEXTURAL	METODOS DE ANALISIS				LIMITE DE CUANTIFICACION DEL METODO			
	pH	C.O	S	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺		Al ³⁺ + H ⁺	Cu	Fe	Zn	Mn		B	PARAMETRO	EXTRACCION	CUANTIFICACION		DOCUMENTO NORMATIVO		
UNIDADES	1:1	%	mg kg ⁻¹		cmolc kg ⁻¹					mg kg ⁻¹						ARENA							
RESULTADOS	7,61	4,12	35,1	1089,7	8,8	6,4	3,42	0,44	Na	19,1	4,8	32,9	7,7	5,3	0,22	NA	Ca ²⁺	Acetato de amonio 1,0 M pH 7,0	Espectroscopia de absorcion atómica	0,1 cmolc kg ⁻¹			
REALIZADO	28/05/2019	30/05/2019	28/05/2019	28/08/2019	28/05/2019				30/05/2019	30/05/2019	31/05/2019				30/05/2019	ARCILLA	Mg ²⁺		Espectroscopia de absorcion atómica	0,0 cmolc kg ⁻¹			
BAJO	Na	<1,1	<10	<15	<3,0	<1,5	<0,2	---	---	<5,0	<1,0	<20	<2	<10	<0,3	NA	K ⁺		Espectroscopia de absorcion atómica	0,02 cmolc kg ⁻¹			
MEIO	Na	1,2 - 2,3	10 - 15	15 - 25	3,0 - 5,0	1,5 - 2,5	0,2 - 0,3	---	---	5,0 - 10,0	1,0 - 2,0	20 - 50	2,0 - 3,0	10 - 15	0,3 - 0,4	NA	Na ⁺		Conductimétrico	0,04 cmolc kg ⁻¹			
IDEAL	Na	2,4 - 2,5	15 - 20	25 - 40	5,0 - 10,0	2,5 - 3,0	0,3 - 0,4	<1,0	<1,0	15 - 20	2,0 - 3,0	50 - 100	3,0 - 4,0	15 - 20	0,4 - 0,6	NA	CICE						
ALTO	Na	>2,5	>20	>40	>10	>3,0	>0,4	>1,0	>1,0	>20	>3,0	>100	>4,0	>20	>0,6	LIMO	Al ³⁺ + H ⁺	KCl 1,0 M	Titrimétrico				
RELACIONES DE CATIONES					SATURACION DE CATIONES				CONVENCIONES GENERALES DE REFERENCIA							NA	Cu - Zn	DTPA	Espectroscopia de absorcion atómica	NTC - 5263.	Cu : 0,40 mg/kg Zn : 0,20 mg/kg		
RELACIONES	Ca ²⁺ /Mg ²⁺	Ca ²⁺ /K ⁺	Mg ²⁺ /K ⁺	(Ca ²⁺ + Mg ²⁺)/K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	No detectable	No analizada	Muestra insuficiente	No aplica	NA			Fe - Mn			NTC - 5256.	Fe : 0,00 mg/kg Mn : 0,20 mg/kg			
UNIDADES	---				%				ND	NA	MI	Na	NA			S	Agua caliente	Colorimétrico	NTC - 5404.				
RESULTADOS	1,4	2,6	1,9	4,4	46,1	33,5	17,9	2,3	UNIDADES				mg kg ⁻¹ , mg L ⁻¹ = ppm	cmolc kg ⁻¹ = mola/100 g de suelo	ds m ⁻¹ = mmhos cm ⁻¹	COORDINADOR TECNICO DEL LABORATORIO				DIRECTOR			
DEFICIENTE	---	---	---	---	<50	<10	<3,0	---	pH en agua	3,5 - 4,5 - Extremadamente ácido				6,1 - 6,5 - Ligeramente ácido - 6,6 - 7,3 - Neutro				JAIME LUIS MERCADO LAZARO. Qco, MSc. Ciencias Agronómicas				ENRIQUE MIGUEL COMBATT CABALLERO. I.A, Ph. D. Ciencias del Suelo	
MEIO	---	---	---	---	50 - 60	10 - 15	3,0 - 4,0	5,0 - 7,0		4,6 - 5,0 - Muy fuertemente ácido				7,4 - 7,8 - Ligeramente alcalino 7,9 - 8,4 - Moderadamente alcalino				OBSERVACIONES					
IDEAL	3 - 6	15 - 30	8 - 10	20 - 40	60 - 70	15 - 20	4,0 - 5,0	<5,0		5,1 - 5,5 - Fuertemente ácido				8,5 - 9,0 - Fuertemente alcalino - > 9,0 Extremadamente alcalino				* Consulte a un Ingeniero Agrónomo o profesional del área de suelos. * El laboratorio no se hace responsable por los daños o perjuicios que puedan originarse por el uso inadecuado de los resultados en el presente informe.					
EXCESO	---	---	---	---	>70	>20	>5,0	>15,0		5,6 - 6,0 - Moderadamente ácido				Materia orgánica = C.O*1,724				Fuente de interpretación (Adeptado de Gómez, 2009)				* Los resultados contenidos en el presente informe sólo son representativos de la muestra analizada. * El presente informe no puede ser reproducido total ni parcialmente en el formato cartón del LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS.	

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS		MUESTRA		ORIGINAL		X		CLIENTE										CONSECUTIVO	
IDENTIFICACION		T-1C		PROPIETARIO		DANIELA JIMENEZ MORALES										19 - 424			
CODIGO DE RECEPCION		230419S-BI		DEPARTAMENTO		CÓRDOBA		MUNICIPIO		PTO LIBERTADOR		CORREGIMIENTO		VEREDA					
FECHA DE EMISION		10/06/2019										FINCA		LA PALMA					
CARACTERIZACION QUIMICA DEL SUELO																			
PARAMETROS		OTROS PARAMETROS				CATIONES FASE CAMBIABLES				CICE		ELEMENTOS MENORES				CLASE TEXTURAL			
		pH	C.O	S	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺		Cu	Fe	Zn	Mn	B			
UNIDADES		1:1	%	mg kg ⁻¹		cmolc kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					ARENA		
RESULTADOS		7,94	1,49	20,8	156,0	12,4	5,6	1,08	0,38	Na	19,5	4,0	42,3	3,7	4,0	0,15	NA		
REALIZADO		05/06/2019	06/06/2019	06/06/2019	05/06/2019	06/06/2019				05/06/2019	06/06/2019	05/06/2019				06/06/2019	ARCILLA		
BAJO		Na	<1,1	<10	<15	<3,0	<1,5	<0,2	---	---	<5,0	<1,0	<20	<2	<10	<0,3	NA		
MEDIO		Na	1,2 - 2,3	10 - 15	15 - 25	3,0 - 5,0	1,5 - 2,5	0,2 - 0,3	---	---	5,0 - 10,0	1,0 - 2,0	20 - 50	2,0 - 3,0	10 - 15	0,3 - 0,4	NA		
IDEAL		Na	2,4 - 2,5	15 - 20	25 - 40	5,0 - 10,0	2,5 - 3,0	0,3 - 0,4	<1,0	<1,0	15 - 20	2,0 - 3,0	50 - 100	3,0 - 4,0	15 - 20	0,4 - 0,6	NA		
ALTO		Na	>2,5	>20	>40	>10	>3,0	>0,4	>1,0	>1,0	>20	>3,0	>100	>4,0	>20	>0,6	LIMO		
RELACIONES DE CATIONES						SATURACION DE CATIONES				CONVENCIONES GENERALES DE REFERENCIA						NA			
RELACIONES		Ca ²⁺ / Mg ²⁺	Ca ²⁺ / K ⁺	Mg ²⁺ / K ⁺	(Ca ²⁺ + Mg ²⁺) / K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	No detectable	No analizada	Muestra insuficiente	No aplica						
UNIDADES		---				%				ND	NA	NI	Ne						
RESULTADOS		2,2	11,5	5,2	16,7	63,6	28,7	5,5	1,9	UNIDADES	mg kg ⁻¹ , mg L ⁻¹ = ppm	cmolc kg ⁻¹ = meq/100 g de suelo	05 m ⁻¹ = mm/100 cm ⁻¹						
DEFICIENTE		---	---	---	---	<50	<10	<3,0	---	pH agua en	3,5 - 4,5 - Extremadamente ácido		6,1 - 6,5 - Ligeramente ácido - 6,6 - 7,3 - Neutro						
MEDIO		---	---	---	---	50 - 60	10 - 15	3,0 - 4,0	5,0 - 7,0		4,5 - 5,0 - Muy fuertemente ácido		7,4 - 7,8 - Ligeramente alcalino 7,9 - 8,4 - Moderadamente alcalino						
IDEAL		3 - 6	15 - 30	8 - 10	20 - 40	60 - 70	15 - 20	4,0 - 5,0	<3,0		5,1 - 5,5 - Fuertemente ácido		8,5 - 9,0 - Fuertemente alcalino - > 9,0 Extremadamente alcalino						
EXCESO		---	---	---	---	>70	>20	>5,0	>15,0		5,6 - 6,0 - Moderadamente ácido		Materia orgánica = C.O*1,724		Fuente de interpretación (Adequado de Gómez, 2005)				
OBSERVACIONES																			
<p>* Consulte a un Ingeniero Agrónomo o profesional del área de suelos.</p> <p>* El laboratorio no se hace responsable por los daños o perjuicios que puedan originarse por el uso inadecuado de los resultados en el presente informe.</p> <p>* Los resultados contenidos en el presente informe sólo son representativos de la muestra analizada. * El presente informe no puede ser reproducido total ni parcialmente sin el permiso escrito del LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS.</p>																			
COORDINADOR TECNICO DEL LABORATORIO												DIRECTOR							
																			
JAIME LUIS MERCADO LAZARO. Qco, MSc. Ciencias Agronómicas												ENRIQUE MIGUEL CONSATTI CABALLERO. I.A, Ph. D. Ciencias del Suelo							

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS		MUESTRA				CLIENTE										CONSECUTIVO									
		IDENTIFICACION		T-2C		PROPIETARIO		DANIELA JIMENEZ MORALES						SOLICITANTE		DANIELA JIMENEZ MORALES		19 - 425							
		CODIGO DE RECEPCION		2304195-9I		DEPARTAMENTO		CÓRDOBA		MUNICIPIO		PTO LIBERTADOR		DIRECCION/EMAIL		Calle 15 No 19-104 B/ Cartagena / aleceto_06@hotmail.com									
FECHA DE EMISION		10/06/2019																							
CARACTERIZACION QUÍMICA DEL SUELO														CLASE TEXTURAL		MÉTODOS DE ANALISIS				LÍMITE DE CUANTIFICACION DEL METODO					
PARAMETROS		OTROS PARAMETROS				CATIONES PASIVOS CAMBIABLES				CICE		ELEMENTOS MENORES				PARAMETRO		EXTRACCION		CUANTIFICACION		DOCUMENTO NORMATIVO			
		pH	C.O	S	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CICE	Cu	Fe	Zn	Mn	S	%								
UNIDADES		1:1	%	mg kg ⁻¹		cmolc kg ⁻¹						mg kg ⁻¹						ARENA							
RESULTADOS		8,34	0,93	22,1	181,8	12,9	5,6	1,72	0,85	Na	21,1	5,5	55,2	3,7	5,6	0,24		NA							
REALIZADO		05/06/2019	06/06/2019	06/06/2019	05/06/2019	06/06/2019				05/06/2019	06/06/2019	05/06/2019				06/06/2019		ARCILLA							
BAJO		No	<1,1	<10	<15	<3,0	<1,5	<0,2	---	---	<5,0	<1,0	<20	<2	<10	<0,5									
MEDIO		No	1,2 - 2,3	10 - 15	15 - 25	3,0 - 5,0	1,5 - 2,5	0,2 - 0,3	---	---	5,0 - 10,0	1,0 - 2,0	20 - 50	2,0 - 3,0	10 - 15	0,5 - 0,4									
IDEAL		No	2,4 - 2,5	15 - 20	25 - 40	5,0 - 10,0	2,5 - 3,0	0,3 - 0,4	<1,0	<1,0	15 - 20	2,0 - 3,0	50 - 100	3,0 - 4,0	15 - 20	0,4 - 0,6									
ALTO		No	>2,5	>20	>40	>10	>3,0	>0,4	>1,0	>1,0	>20	>3,0	>100	>4,0	>20	>0,6									
RELACIONES DE CATIONES					SATURACION DE CATIONES				CONVENCIONES GENERALES DE REFERENCIA										CLASE TEXTURAL						
RELACIONES		Ca ²⁺ /Mg ²⁺	Ca ²⁺ /K ⁺	Mg ²⁺ /K ⁺	(Ca ²⁺ + Mg ²⁺)/K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	No detectable	No analizada	Muestra insuficiente	No aplica												
UNIDADES		---	---	---	---	---	---	---	---	ND	NA	MI	Ne												
RESULTADOS		2,3	7,5	3,3	10,8	61,1	26,5	8,2	4,0					mg kg ⁻¹ , mg L ⁻¹ = ppm	cmolc kg ⁻¹ = meq/100 g de suelo	DS m ² = mmhos cm ⁻¹									
DEFICIENTE		---	---	---	---	<30	<10	<3,0	---	pH en agua	3,5 - 4,5 - Extremadamente ácido		6,1 - 6,5 - Ligeramente ácido - 6,5 - 7,5 - Neutra												
MEDIO		---	---	---	---	30 - 50	10 - 15	3,0 - 4,0	5,0 - 7,0		4,5 - 5,0 - Muy fuertemente ácido		7,4 - 7,5 - Ligeramente alcalino - 7,5 - 8,4 - Moderadamente alcalino												
IDEAL		5 - 6	15 - 30	8 - 10	20 - 40	60 - 70	15 - 20	4,0 - 5,0	<3,0		5,1 - 5,5 - Fuertemente ácido		8,5 - 9,0 - Fuertemente alcalino - > 9,0 Extremadamente alcalino												
EXCESO		---	---	---	---	>70	>20	>5,0	>15,0		5,6 - 6,0 - Moderadamente ácido		Materia orgánica = C.O*1,724		Fuente de interpretación (Adequado de Gómez, 2005)										
														COORDINADOR TECNICO DEL LABORATORIO				DIRECTOR							
																									
														JAINÉ LUIS MERCADO LAZARO. Qc, MSc. Ciencias Agronómicas				ENRIQUE MIGUEL COMAS CABALLERO. I.A, Ph. D. Ciencias del Suelo							
														OBSERVACIONES											
														* Consulte a un Ingeniero Agrónomo o profesional del área de suelos.											
														*El laboratorio no se hace responsable por los datos o resultados que puedan originarse por el uso inadecuado de los resultados en el presente informe											
														* Los resultados contenidos en el presente informe solo son representativos de la muestra analizada. * El presente informe no puede ser reproducido total ni parcialmente sin el permiso escrito del LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS.											

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS		MUESTRA		ORIGINAL	X	CLIENTE										CONSECUTIVO							
		IDENTIFICACION		T-3C		PROPIETARIO		DANIELA JÍMEZ MORALES						SOLICITANTE		DANIELA JÍMEZ MORALES		19 - 426					
		CODIGO DE RECEPCION		230419S-10I		DEPARTAMENTO		CÓRDOBA		MUNICIPIO		PTO LIBERTADOR		DIRECCION/EMAIL		Calle 15 No 19-104 B/ Cartagena //alecto_06@hotmail.com							
		FECHA DE EMISION		10/06/2019										CORREGIMIENTO		---		VEREDA		LA PALMA			
CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL SUELO												CLASE TEXTURAL		MÉTODOS DE ANALISIS					LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN DEL MÉTODO				
PARAMETROS	OTROS PARAMETROS				CATIONES FASE CAMBIABLES					CICE	ELEMENTOS MENORES					%	PARAMETRO	EXTRACCION	CUANTIFICACION	DOCUMENTO NORMATIVO			
	pH	C.O	S	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺		Cu	Fe	Zn	Mn	B								
UNIDADES	1:1	%	mg kg ⁻¹		cmolc kg ⁻¹						mg kg ⁻¹												
RESULTADOS	8,57	0,17	19,6	49,9	3,9	4,2	0,31	0,61	Na	9,0	2,6	17,1	3,1	0,7	0,13	NA						0,1 cmolc kg ⁻¹	
REALIZADO	05/06/2019	06/06/2019	06/06/2019	05/06/2019	06/06/2019					05/06/2019	06/06/2019	05/06/2019					06/06/2019	ARCILLA					0,03 cmolc kg ⁻¹
BAJO	Na	<1,1	<10	<15	<3,0	<1,5	<0,2	---	---	<5,0	<1,0	<20	<2	<10	<0,3	NA	Acetato de amonio 1:0 H pH 7,0	Espectroscopio de emisión atómica	NTC - 5249.		0,04 cmolc kg ⁻¹		
MEDIO	Na	1,2 - 2,3	10 - 15	15 - 25	3,0 - 5,0	1,5 - 2,5	0,2 - 0,3	---	---	5,0 - 10,0	1,0 - 2,0	20 - 50	2,0 - 3,0	10 - 15	0,3 - 0,4						CICE	Conductimétricos	---
IDEAL	Na	2,4 - 2,5	15 - 20	25 - 40	5,0 - 10,0	2,5 - 3,0	0,3 - 0,4	<1,0	<1,0	15 - 20	2,0 - 3,0	50 - 100	3,0 - 4,0	15 - 20	0,4 - 0,6						Al ³⁺ + H ⁺	ND 1:0 H	Titrimétricos
ALTO	Na	>2,5	>20	>40	>10	>3,0	>0,4	>1,0	>1,0	>20	>3,0	>100	>4,0	>20	>0,6	LIMO	Cu - Zn	OTPA	Espectroscopio de emisión atómica	NTC - 5263.	Cu : 0,40 mg/kg Zn: 0,20 mg/kg		
RELACIONES DE CATIONES					SATURACION DE CATIONES				CONVENCIONES GENERALES DE REFERENCIA							NA	Fe - Mn		NTC - 5526.	Fe : 2,00 mg/kg Mn: 0,20 mg/kg			
RELACIONES	Ca ²⁺ /Mg ²⁺	Ca ²⁺ /K ⁺	Mg ²⁺ /K ⁺	(Ca ²⁺ + Mg ²⁺)/K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	No detectable	No analizada	Muestra insuficiente	No aplica				NA	S	Agua caliente	Colorimétricos	NTC - 5404.	---		
UNIDADES	---				%				ND	NA	MI	Na				NA	C. TEXTURAL	NA	Sauyousa/Widmanto	32AC 9ª Edición - 2006	---		
RESULTADOS	0,9	12,6	13,5	26,1	43,3	46,7	3,4	6,8	UNIDADES	mg kg ⁻¹ , mg L ⁻¹ = ppm		cmolc kg ⁻¹ = mola/100 g de suelo		0,5 m ⁻¹ = mmhos cm ⁻¹									
DEFICIENTE	---	---	---	---	<50	<10	<3,0	---	pH en agua	3,5 - 4,5 - Extremadamente ácido		6,1 - 6,5 - Ligero ácido - 6,6 - 7,5 - Neutro				JAIME LUIS MERCADO LAZARO. Qco, MSc. Ciencias Agronómicas		ENRIQUE MIGUEL COMBATT CABALLERO. I.A, Ph. D. Ciencias del Suelo					
MEDIO	---	---	---	---	50 - 60	10 - 15	3,0 - 4,0	5,0 - 7,0		4,5 - 5,0 - Muy fuertemente ácido		7,4 - 7,5 - Ligero ácido - 7,6 - 8,4 - Moderadamente ácido				OBSERVACIONES							
IDEAL	3 - 6	15 - 30	8 - 10	20 - 40	60 - 70	15 - 20	4,0 - 5,0	<5,0		5,1 - 5,5 - Fuertemente ácido		8,5 - 9,0 - Fuertemente ácido - > 9,0 Extremadamente ácido				* Consulta a un Ingeniero Agrónomo o profesional del área de suelos. *El laboratorio no se hace responsable por los defectos o perjuicios que pueden originarse por el uso inadecuado de los resultados en el presente informe.							
EXCESO	---	---	---	---	>70	>20	>5,0	>15,0		5,6 - 6,0 - Moderadamente ácido		Materia orgánica = C.O*1,724		Fuente de interpretación (Adaptado de Gómez, 2005)		* Los resultados contenidos en el presente informe sólo son representativos de la muestra analizada. * El presente informe no puede ser reproducido total ni parcialmente en el formato cartón del LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS.							

Anexo 3. ANOVA para longitud del tallo

Analysis of Variance Table for ALTO3					
Source	DF	SS	MS	F	P
SUELO	2	2485,29	1242,65	3,94	0,0938
ALTO1	1	69,62	69,62	0,22	0,6582
Error	5	1576,34	315,27		
Total	8				

Anexo 4. ANOVA para Diámetro del tallo

Analysis of Variance Table for Diametro3					
Source	DF	SS	MS	F	P
Suelo	2	0,15577	0,07789	15,03	0,0077
Diametro1	1	0,01053	0,01053	2,03	0,2132
Error	5	0,0259	0,00518		
Total	8				

Anexo 5. Comparaciones múltiples para diámetro

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: DIAMETRO DEL TALLO

			Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD de Tukey	T1	T2	-,08167	,06363	,453	-,2769	,1136
		T3	,23333*	,06363	,024	,0381	,4286
	T2	T1	,08167	,06363	,453	-,1136	,2769
		T3	,31500*	,06363	,006	,1198	,5102
	T3	T1	-,23333*	,06363	,024	-,4286	-,0381
		T2	-,31500*	,06363	,006	-,5102	-,1198

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Anexo 6. Subconjuntos para diámetro

DIAMETRO					
T		N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	
HSD de Tukey ^a	T3	3	,6067		
	T1	3			,8400
	T2	3			,9217
	Sig.		1,000		,453
Tukey B ^a	T3	3	,6067		
	T1	3			,8400
	T2	3			,9217

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3,000.

Anexo 7. ANOVA para número de hojas

Analysis of Variance Table for HOJAS3					
Source	DF	SS	MS	F	P
SUELO	2	3,30E+07	1,65E+07	110,92	0,0001
HOJAS1	1	187161	187161	1,26	0,3131
Error	5	744325	148865		
Total	8				

Anexo 8. Comparaciones múltiples para número de hojas

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: HOJAS3

			Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
(I) SUELO	(J) SUELO					Límite inferior	Límite superior
HSD de Tukey	T1	T2	3722,66667*	321,71186	,000	2735,5663	4709,7670
		T3	4863,00000*	321,71186	,000	3875,8997	5850,1003
	T2	T1	-3722,66667*	321,71186	,000	-4709,7670	-2735,5663
		T3	1140,33333*	321,71186	,028	153,2330	2127,4337
	T3	T1	-4863,00000*	321,71186	,000	-5850,1003	-3875,8997
		T2	-1140,33333*	321,71186	,028	-2127,4337	-153,2330

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Anexo 9. Subconjunto para número de hojas

HOJAS3

		N	Subconjunto para alfa = 0.05		
SUELO			1	2	3
HSD de Tukey ^a	T3	3	1858,0000		
	T2	3		2998,3333	
	T1	3			6721,0000
	Sig.		1,000	1,000	1,000
Tukey B ^a	T3	3	1858,0000		
	T2	3		2998,3333	
	T1	3			6721,0000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3,000.

a. R cuadrado = ,977 (R cuadrado corregida = ,969)

Anexo 10. ANOVA para área foliar

Analysis of Variance Table for AREA FOLIAR					
Source	DF	SS	MS	F	P
SUELO	2	5,26E+07	2,63E+07	124,92	0
Error	6	1262878	210480		
Total	8	5,39E+07			
Grand Mean	4493,2				
CV	10,21				

Anexo 11. Comparaciones múltiples para área foliar

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: AREA FOLIAR

		Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
(I) SUELO	(J) SUELO				Límite inferior	Límite superior	
HSD de Tukey	T1	T2	4331,71158*	374,59285	,000	3182,3578	5481,0653
		T3	5661,53189*	374,59285	,000	4512,1781	6810,8856
	T2	T1	-4331,71158*	374,59285	,000	-5481,0653	-3182,3578
		T3	1329,82031*	374,59285	,028	180,4666	2479,1741
	T3	T1	-5661,53189*	374,59285	,000	-6810,8856	-4512,1781
		T2	-1329,82031*	374,59285	,028	-2479,1741	-180,4666

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Anexo 12. Subconjuntos para área foliar

AREA FOLIAR

SUELO		N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
HSD de Tukey ^a	T3	3	2162,7250		
	T2	3		3492,5453	
	T1	3			7824,2569
	Sig.		1,000	1,000	1,000
Tukey B ^a	T3	3	2162,7250		
	T2	3		3492,5453	
	T1	3			7824,2569

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3,000.

Anexo 13. ANOVA para masa seca aérea

Analysis of Variance Table for MASA SECA AÉREA					
Source	DF	SS	MS	F	P
SUELO	2	494,278	247,139	23,11	0,0015
Error	6	64,17	10,695		
Total	8	558,448			
Grand Mean	15,587				
CV	20,98				

Anexo 14. Comparaciones múltiples para masa seca aérea

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: MASA SECA AÉREA

		Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
(I) SUELO	(J) SUELO				Límite inferior	Límite superior	
HSD de Tukey	T1	T2	-1,94667	2,67020	,756	-10,1396	6,2463
		T3	14,65667*	2,67020	,004	6,4637	22,8496
	T2	T1	1,94667	2,67020	,756	-6,2463	10,1396
		T3	16,60333*	2,67020	,002	8,4104	24,7963
	T3	T1	-14,65667*	2,67020	,004	-22,8496	-6,4637
		T2	-16,60333*	2,67020	,002	-24,7963	-8,4104

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Anexo 15. Subconjunto para masa seca aérea

MASA SECA AÉREA

		N	Subconjunto para alfa = 0.05	
SUELO			1	2
HSD de Tukey ^a	T3	3	5,1667	
	T1	3		19,8233
	T2	3		21,7700
	Sig.		1,000	,756
Tukey B ^a	T3	3	5,1667	
	T1	3		19,8233
	T2	3		21,7700

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3,000.

Anexo 16. ANOVA para masa seca raíz

Analysis of Variance Table for MASA SECA RAÍZ					
Source	DF	SS	MS	F	P
SUELO	2	26,1085	13,0542	22,59	0,0016
Error	6	3,4671	0,5779		
Total	8	29,5756			
Grand Mean	4,3133				
CV	17,62				

Anexo 17. Comparaciones múltiples para masa seca raíz

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: MASA SECA RAÍZ

			Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
(I) SUELO (J) SUELO						Límite inferior	Límite superior
HSD de Tukey	T1	T2	-,41667	,62067	,788	-2,3211	1,4877
		T3	3,38667*	,62067	,004	1,4823	5,2911
	T2	T1	,41667	,62067	,788	-1,4877	2,3211
		T3	3,80333*	,62067	,002	1,8989	5,7077
	T3	T1	-3,38667*	,62067	,004	-5,2911	-1,4823
		T2	-3,80333*	,62067	,002	-5,7077	-1,8989

Anexo 18. Subconjunto para masa seca raíz

MASA SECA RAÍZ				
SUELO		N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
HSD de Tukey ^a	T3	3	1,9167	
	T1	3		5,3033
	T2	3		5,7200
	Sig.		1,000	,788
Tukey B ^a	T3	3	1,9167	
	T1	3		5,3033
	T2	3		5,7200

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3,000.

Anexo 19. ANOVA para pH

Analysis of Variance Table for PH2					
Source	DF	SS	MS	F	P
SUELO	2	0,08125	0,04063	1	0,4304
PH1	1	0,16331	0,16331	4,03	0,101
Error	5	0,20263	0,04053		
Total	8				

Anexo 20. ANOVA para C.O

Analysis of Variance Table for CO2					
Source	DF	SS	MS	F	P
SUELO	2	4,08917	2,04459	1,56	0,2982
CO1	1	0,00121	0,00121	0	0,9769
Error	5	6,56739	1,31348		
Total	8				

Anexo 21. ANOVA para CIC_E

Analysis of Variance Table for CICE2					
Source	DF	SS	MS	F	P
SUELO	2	28,9839	14,4919	11,69	0,013
CICE1	1	7,0707	7,0707	5,71	0,0625
Error	5	6,196	1,2392		
Total	8				

Anexo 22. ANOVA para Ca^{2+}

Analysis of Variance Table for Ca^{2+} 2					
Source	DF	SS	MS	F	P
SUELO	2	100,501	50,2506	0,67	0,552
Ca^{2+} 1	1	72,241	72,2408	0,96	0,3712
Error	5	374,513	74,9025		
Total	8				

Anexo 23. ANOVA para Mg^{2+}

Analysis of Variance Table for Mg^{2+} 2					
Source	DF	SS	MS	F	P
SUELO	2	6,2204	3,1102	0,57	0,6001
Mg^{2+} 1	1	4,903	4,903	0,89	0,388
Error	5	27,4503	5,49007		
Total	8				

Anexo 24. ANOVA para Na^+

Analysis of Variance Table for Na^+ 2					
Source	DF	SS	MS	F	P
SUELO	2	5,0665	2,53324	0,64	0,5636
Na^+ 1	1	2,758	2,75796	0,7	0,4404
Error	5	19,6554	3,93107		
Total	8				

Anexo 25. ANOVA para K⁺

Analysis of Variance Table for K ⁺					
Source	DF	SS	MS	F	P
SUELO	2	40,518	20,2588	0,5	0,6356
K ⁺	1	37,489	37,4887	0,92	0,3817
Error	5	203,878	40,7756		
Total	8				

Anexo 26. ANOVA para P

Analysis of Variance Table for P					
Source	DF	SS	MS	F	P
SUELO	2	840966	420483	4,17	0,0859
P	1	494485	494485	4,91	0,0776
Error	5	503689	100738		
Total	8				

Anexo 27. ANOVA para S

Analysis of Variance Table for S					
Source	DF	SS	MS	F	P
SUELO	2	220,838	110,419	1,04	0,4185
S	1	43,463	43,463	0,41	0,55
Error	5	529,73	105,946		
Total	8				

Anexo 28. Tabulación de variables de crecimiento de las plantas.

T1A		Alto (cm)	Ancho (cm)	# de Hojas
	1	15,1	0,13	238
	2	21,15	0,185	380
	3	102	0,865	7092
PROMEDIO		46,0833333	0,393333333	2570
MAX		102	0,865	7092
MIN		15,1	0,13	238
DESVEST		48,5196438	0,409399967	3916,810437

T2A		Alto (cm)	Ancho (cm)	# de Hojas
	1	19,2	0,14	293
	2	69	0,315	838
	3	143	0,96	2.959
PROMEDIO		77,0666667	0,471666667	1363,333333
MAX		143	0,96	2959
MIN		19,2	0,14	293
DESVEST		62,2929638	0,431866106	1408,49932

T3A		Alto (cm)	Ancho (cm)	# de Hojas
	1	17,3	0,15	188
	2	21,2	0,21	175
	3	71,7	0,5	1.542
PROMEDIO		36,73333333	0,286666667	635
MAX		71,7	0,5	1542
MIN		17,3	0,15	175
DESVEST		30,34474144	0,187171935	785,511935

T1B		Alto (cm)	Ancho (cm)	# de Hojas
	1	13,5	0,115	296
	2	16	0,138	106
	3	99,4	0,775	6.959
PROMEDIO		42,9666667	0,342666667	2453,666667
MAX		99,4	0,775	6959
MIN		13,5	0,115	106
DESVEST		48,8886831	0,374588218	3902,889485

T2B		Alto (cm)	Ancho (cm)	# de Hojas
	1	13,6	0,115	196
	2	18,8	0,205	279
	3	97,3	0,975	2.836
PROMEDIO		43,2333333	0,431666667	1103,666667
MAX		97,3	0,975	2836
MIN		13,6	0,115	196
DESVEST		46,8952379	0,472687353	1500,818554

T3B		Alto (cm)	Ancho (cm)	# de Hojas
	1	12	0,145	113
	2	15,1	0,18	223
	3	73,2	0,67	1.744
PROMEDIO		33,43333333	0,331666667	693,3333333
MAX		73,2	0,67	1744
MIN		12	0,145	113
DESVEST		34,47380648	0,293527398	911,5647719

T1C		Alto (cm)	Ancho (cm)	# de Hojas
	1	8,1	0,075	120
	2	9,1	0,11	203
	3	120	0,88	6.112
PROMEDIO		45,7333333	0,355	2145
MAX		120	0,88	6112
MIN		8,1	0,075	120
DESVEST		64,3187635	0,455	3435,773421

T2C		Alto (cm)	Ancho (cm)	# de Hojas
	1	18,7	0,155	202
	2	22,5	0,21	328
	3	124	0,83	3.200
PROMEDIO		55,0666667	0,398333333	1243,333333
MAX		124	0,83	3200
MIN		18,7	0,155	202
DESVEST		59,7282457	0,374844412	1695,693762

T3C		Alto (cm)	Ancho (cm)	# de Hojas
	1	15,5	0,105	134
	2	19,7	0,165	204
	3	95	0,65	2.288
PROMEDIO		43,4	0,306666667	875,3333333
MAX		95	0,65	2288
MIN		15,5	0,105	134
DESVEST		44,73622693	0,298844999	1223,90577

PESO BOLSA	MATERIAL SUPERFICIAL (g)	RAIZ (g)
T1A	2,85	2,86
T1B	2,81	2,82
T1C	2,86	2,92
T2A	3,36	2,84
T2B	2,87	2,89
T2C	2,83	2,88
T3A	2,83	2,87
T3B	2,89	2,93
T3C	2,87	2,88

MASA SECA + BOLSA	MATERIAL SUPERFICIAL (g)	RAIZ (g)
T1A	21,33	7,77
T1B	20,02	7,64
T1C	26,64	9,1
T2A	29,86	9,55
T2B	21,54	8,47
T2C	22,97	7,75
T3A	6,27	4,34
T3B	8,3	4,69
T3C	9,52	5,4

MASA SECA	MATERIAL SUPERFICIAL (g)	RAIZ (g)
T1A	18,48	4,91
T1B	17,21	4,82
T1C	23,78	6,18
T2A	26,5	6,71
T2B	18,67	5,58
T2C	20,14	4,87
T3A	3,44	1,47
T3B	5,41	1,76
T3C	6,65	2,52